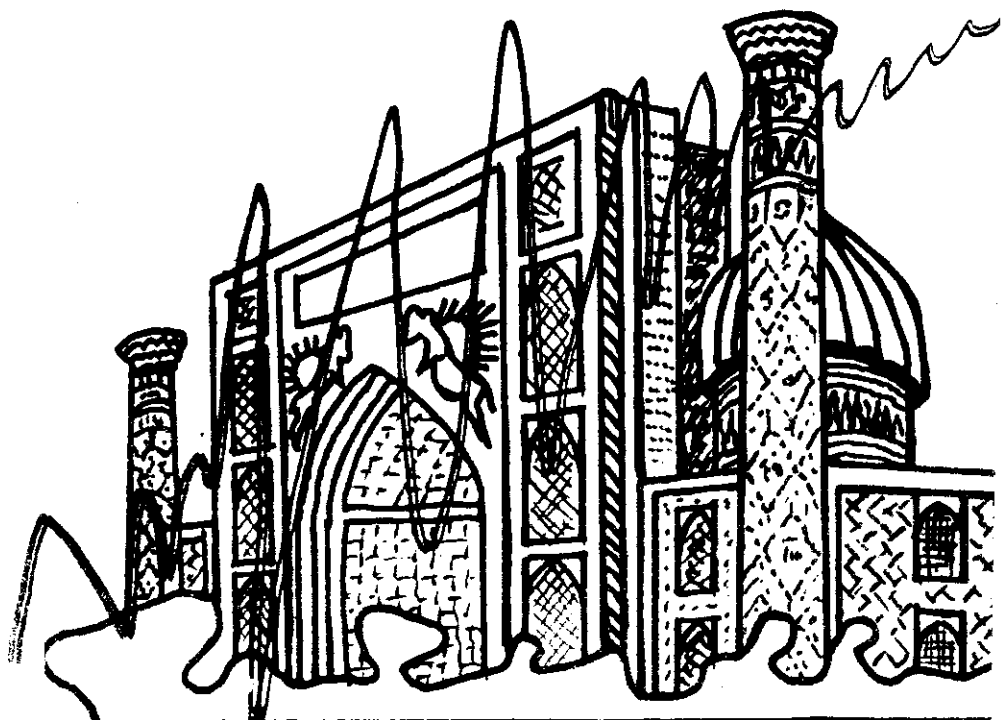


Р. И. Холмурадов,

Б. А. Кириков,

У. Фахриддинов



**Сейсмостойкость архитектурных
памятников Средней Азии и Кавказа**

**Р. И. ХОЛМУРАДОВ, Б. А. КИРИКОВ,
У. ФАХРИДДИНОВ**

**СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ
АРХИТЕКТУРНЫХ
ПАМЯТНИКОВ
СРЕДНЕЙ АЗИИ И КАВКАЗА**

*Книга посвящается памяти
великого ученого астронома, зод-
чего-строителя и правителя Са-
марканда Мирзо Улугбека*

УДК 624.01.042.7

Рецензент — М. К. Ахмедов, профессор

Редактор —

Р. И. Холмурадов, Б. А. Кириков, У. Фахриддинов.

Сейсмостойкость архитектурных памятников Средней
Азии и Кавказа.

В предлагаемой читателю книге рассказывается о замечательных древних сооружениях Средней Азии и Кавказа, которые на протяжении многих веков успешно могли противостоять сейсмическим воздействиям. Для того, чтобы разобраться в секретах сейсмостойкости древних архитектурных памятников, они анализируются с позиций современной теории сейсмостойкости. Конструкторские приемы зодчих древности рассматриваются в развитии, при этом прослеживается связь архитектуры Средней Азии и Кавказа с архитектурой других стран. Книга написана в популярной форме с использованием большого фактического материала.

Книга адресуется людям, интересующимся историей архитектуры, молодым специалистам в области сейсмостойкого строительства, а также всем любознательным.

О ЧЕМ ХОЧЕТСЯ РАССКАЗАТЬ В ЭТОЙ КНИГЕ?

Уважаемый читатель, нам очень хочется, чтобы наша встреча прошла увлекательно и во взаимной симпатии. Пусть Вас не смущает кажущаяся узость выбранной темы книги. Как Вы увидите дальше, история сейсмостойкости связана со многими сторонами человеческой деятельности. Можно даже поставить такой вопрос: «Сейсмостойкое строительство — это что, наука, искусство, накопленный опыт, интуиция, смелость замыслов, широта мышления, цельность человеческой натуры?» И ответ: «Да, от всего этого зависит совершенство приемов сейсмостойкого строительства, приемляемых в данном месте, в данное время, но к этому надо добавить государственное устройство, экономику и политику». Наша задача постараться достаточно вразумительно рассказать об этой в глубокой древности возникшей области человеческих знаний. Для раскрытия выбранной темы достаточно пользоваться историческим материалом, относящимся к архитектуре Средней Азии и Кавказа, откуда прослеживаются связи практически со всеми политическими и культурными центрами Мира. Эти обширные районы Земного Шара издавна были заселены людьми. Здесь, сменяя друг друга, возникали и гибли высокоразвитые государства с хорошо развитым искусством строить монументальные сооружения. Здесь скрещивались пути движения многих народов. Здесь создавалась своя самобытная строительная техника, широко использовавшая лучший опыт, накопленный в других районах Земли. По этой причине, изучая антисейсмические приемы Средней Азии и Кавказа, мы поспеваем будем знакомиться с сейсмостойким строительством других стран. Об этом весьма поучительном, даже в наши дни, опыте сейсмостойкого строительства, накопленном хотя бы за последние 2000 лет в названных районах, хочется рассказать Вам, читатель.

Хочется также Вас, читатель, избавить от одного весьма распространенного заблуждения, если оно у Вас

есть. Многие считают, что при создании сейсмостойкой конструкции можно ограничиться усилением только каких-то её отдельных элементов, чтобы придать всей конструкции повышенную прочность. На самом деле вопрос стоит гораздо шире. К антисейсмическим мероприятиям необходимо относить не только усиление конструкции и её сейсмонзоляцию, но и гидронзоляция каменной кладки, повышающая её надежность и долговечность, является таким мероприятием. Таким же мероприятием является защита грунтового основания под сооружением от замачивания, чтобы предохранить здание от неравномерных осадок. Стремление придать всей конструкции здания не только свойств прочности, но и податливости, также антисейсмическое мероприятие. Можно назвать и другие факторы, которые влияют на сейсмостойкость сооружений, но о них речь впереди. Как увидим дальше, зодчие древности хорошо представляли многогранность понятия антисейсмические мероприятия и строили так, чтобы обеспечить своим сооружениям прочность, долговечность и сейсмостойкость.

Теперь был бы логичен Ваш вопрос, читатель. Как мы собираемся из всех конструктивных приемов, применявшихся древними зодчими, выделить именно те, которые относятся к антисейсмическим мероприятиям? Вопрос принципиальный. По сути дела, Вы, читатель, спрашиваете нас о чем мы собственно собираемся писать. Как мы узнаем о чем думал древний строитель, проектируя то или иное сооружение.

Комментариев, пояснительных записок и чертежей древних сооружений не сохранилось, а может их и не было, зодчий весь проект здания скорее всего держал в голове. На этот казалось бы трудный вопрос мы предлагаем простой ответ. Давайте взглянем на древние сооружения, расположенные в сейсмически опасных районах, с позиций современного представления о сейсмостойких конструкциях. Считаем, что такое предположение вполне допустимо. Изучая древние сооружения, мы пришли к выводу, что современные и древние взгляды на способы создания сейсмостойких конструкций мало чем отличаются. Ничего здесь удивительного нет. Подумайте сами, действительно со временем меняются строительные материалы и требования к кон-

структурным решениям сооружений, меняются сами люди, но законы-то природы остаются. При этом древний закон, мы думаем, мыслит не хуже нас с вами. В результате исторического развития сформулировались те принципы сейсмостойкого строительства, которым следовали древние строители и которым следуем мы. Итак, необходимо дать, как бы вечные универсальные принципы сейсмостойкого строительства, которыми мы будем дальше руководствоваться, выделяя из строительных приемов древних мастеров те, которые относятся к антисейсмическим мероприятиям. Вот они всеобщие принципы сейсмостойкого строительства.

1. Принцип симметрии и центричности. Веса и жесткости в сооружении должны быть распределены равномерно и симметрично относительно плоскостей симметрии проходящих через центр тяжести сооружения. Идеальным воплощением этого принципа являются сооружения с осевой симметрией.

2. Принцип геометрической гармонии. Должны соблюдаться определенные соотношения между высотой шириной и длиной здания, чтобы обеспечить форму, способствующую его сейсмостойкости.

3. Принцип минимизации веса. Необходимо делать сооружение как можно более легким с центром тяжести, расположенным как можно ниже. Этому принципу хорошо отвечают пирамидальные сооружения.

4. Принцип идеального материала. Материалы в конструкции желательно применять прочные, легкие, обладающие упругопластическими свойствами, конструкции из них должны иметь однородные свойства.

5. Принцип каркасности или замкнутого контура. Несущие элементы конструкции должны быть связаны между собой в единую пространственную систему, образующую замкнутые контуры как в вертикальном, так и горизонтальном направлениях.

6. Принцип фундаментальности. Фундаменты у сейсмостойких конструкций должны быть прочными, достаточно глубоко заложенными, желательно на податливых прослойках или специальных субструкциях, заменяющих плохие грунты, для обеспечения однородности и прочности грунтового основания.

7. Принцип сейсмоизоляции. Применять устройства, снижающие интенсивность колебательных процессов, передаваемых от грунта на здание (рис. 1).

Анализируя в дальнейшем древние сооружения с позиций, указанных принципов, мы будем встречать конструктивные приемы, которые являются чисто антисейсмическими мероприятиями. Это говорит о том, что задние древности уже умели выделять сейсмические воздействия в отдельный вид нагрузок.

Может быть в этой главе стоило бы еще рассказать о строптивом и незарегулированном характере сейсмического воздействия, о природе сейсмических волн, о резонансных явлениях возникающих между грунтом и сооружением во время землетрясения, но, пожалуй, лучше обо всем поговорить при разборе конкретных примеров.

ДРЕВНЕЙШИЕ СООРУЖЕНИЯ СРЕДНЕЙ АЗИИ

На Восток от Кавказских гор за простором бурного Каспийского моря раскинулись обширные пространства Средней Азии. В центре их протекают две полноводные реки: Сырдарья и Амударья, впадающие в Аральское море. Природные условия этой центральной части Средней Азии очень напоминают те, что существовали в долинах Тигра и Ефрата, где возникла одна из древнейших шумерских цивилизаций, откуда началось развитие всех наук и искусств. В Средней Азии, как и в Месопотамии, уже в V—IV тысячелетиях до нашей эры началась складываться оседлая культура земледелия, в оазисах возникли небольшие поселения, выплавляется медь, существует связь с Шумерами. Естественно, что в Среднеазиатском Двуречье возводились сооружения и применялись строительные приемы очень похожие на те, что существовали в месопотамском Двуречье. Из монументальной архитектуры того времени известен большой культовый комплекс, посвященный богу Луны, включавший четырехступенчатую башню, имевшую 12,0 м высоту и 28,0 м в длину, очень похожую на закурваты Месопотамии.

В III—II тысячелетиях до н. э. на юге Средней Азии складывается сообщество племен, культура которых получила условное название Алтын-депе. Интересно, что при раскопках относящихся к этому времени были обнаружены на предметах эламские и шумерские символы, а также найдена печать с хараппской пись-

менностью. Это говорит о том, что существовали связи этого сообщества с самыми развитыми цивилизациями того времени.

В VII—VI в. в. до н. э. формируются раннеклассовые государства в оазисах Бактрии и Маргианы, которые вскоре, как и все остальные оазисы Средней Азии, присоединяются к персидской державе Ахеменидов. центром Маргианы был крупный город, развалины которого носят название Гяуркала (крепость неверных). Здесь за мощными стенами, очень похожими на вавилонские, располагались монументальные строения дворцовых и храмовых комплексов на высоких массивах платформ из сырцового кирпича. Все как у хараппов по Инду или у вавилонян по Ефрату. Далее развивающееся государство Ахеменидов столкнулось с крупнейшей Элладой и в 331 году до н. э., в битве с войсками Александра Македонского при Гавкамелах, окончательно рухнуло. В Среднюю Азию двинулись греческие колонисты, приток которых продолжался и при наследниках Александра Македонского-селевкидах. Так, на территории Бактрии, на левом берегу Амударьи, открыты развалины большого города, архитектура которого носит явно греческий характер. Греки относились к завоеванным народам как к диким варварам и соответственно стремились насаждать свою культуру. Возникает Греко-Бактрийское царство, города которого планируются по греческому образцу, широко используются каменные колонны, большой популярностью пользуется пышный коринфский ордер. Но в конце II в. до н. э. и это государство рухнуло под ударами объединившихся кочевников. Такова была бурная предыстория образования государств на территории Средней Азии, об архитектуре которых здесь идет речь. Здесь скрещивались пути с Востока и Запада, здесь возникали и развивались свои самобытные традиции. Мы дальше в основном будем рассказывать о сооружениях созданных уже в новую эру, но прежде хочется рассказать немного о самых древнейших сооружениях, чтобы показать самые глубинные корни архитектурных памятников созданных позднее.

В Бактрии есть смысл познакомиться с кольцеобразным сооружением. Кстати в древности широко применялись различные круглые жилые, культовые и оборонительные постройки. На рис. 2 показан храм-крепость Кутлауг-тепе, относящийся к V в. до н. э. Внут-

ренный диаметр кольца — 22,0 м. Стены толстые 2,5—3,0 м, сложенные из сырцового крупного кирпича на глиняном растворе. Высота этого двухэтажного кольцеобразного сооружения была 6—7 м. Внутри имелся обходной коридор шириной порядка 3,5 м. Перекрытие было плоским и поддерживалось деревянными балками, уложенными на кольцевые стены. Из описания материала и конструкции храма совершенно ясно, что это кольцеобразное сооружение обладало значительными пластическими свойствами. Это кольцо повидимому могло свободно без разрушений деформироваться во время землетрясения так, как деформируется земная поверхность. Сама геометрическая форма храма с точки зрения сейсмостойкого строительства весьма устойчивая и соответствует материалу, из которого она сделана. Таких круглых храмов в те времена существовало, повидимому, много, они были связаны с почитанием солнечного божества Митры. На рис. 3 показан еще более древний храм Дашлы-3, относящийся к XVII в. до н. э. Кирпичные стены этого кольцеобразного храма для устойчивости очень квалифицированно усилены дополнительными выступами-контофорсами. Убедившись, что в Средней Азии уже в те труднообразимые времена существовало строительное искусство, двинемся дальше по реке времени, перевесемся сразу в новую эру. На территории Средней Азии продолжают возникать и исчезать государства, приходят и уходят целые народы, вместе с ними складываются разнообразные архитектурные формы и многообразные строительные приемы. На основе этого обширного исходного материала, мы будем дальше рассматривать только свою узкую проблему, выяснять какие конструктивные решения древних сооружений способствовали повышению их сейсмостойкости.

Отправимся в городище Топрак-кала, расположенное в низовьях Амударьи. Этот археологический комплекс содержит: хорошо укрепленный город, дворец на высокой платформе, ещё один дворцовый массив, крепость и загадочное обширное разное пространство обнесенное валом. Это остатки столицы царей Хорезма. Самый первый активный период существования этой столицы приходится на I—III в. в. до н. э. Из всех многочисленных сооружений этого города рассмотрим только Высокий дворец расположенный на гигантской

платформе. Этого нам будет вполне достаточно, чтобы представить строительную технику того времени.

Изучая строительные конструкции Высокого дворца трудно сразу понять, где Вы находитесь, в среднеазиатском Дзуречье или в долинах Месопотамии. Тот же сырцовый кирпич из лёссовой глины, те же высокие платформы под сооружения, такие же сводчатые конструкции. Разве что нет циновок и канатов из тростника пропитанных битумом, которыми армировалась кладка из сырцового кирпича в Месопотамии. В Топрак-Кала, как впрочем и в других архитектурных памятниках Хорезма того времени, основным строительным материалом является сырцовый кирпич из лёссовой глины. Из этого кирпича изготовлялись все несущие конструкции. При этом существовало всегда два типа кирпича. Первый, самый распространённый, это обычный кирпич прямоугольной формы размером примерно 40x40x10 см, который превосходит весом современный приблизительно в 8 раз и весит порядка 36 кг. Этот кирпич употребляется в кладке платформ, стен и балочных перекрытий. Как правило, он составлял в кладке 57% общего объёма, остальное глиняно-песчаный раствор. Из приведённого описания понятно, что такая кладка обладала свойствами пластичности, что положительно сказывалось на сейсмостойкости этих сооружений. Второй тип кирпича имеет трапециевидную форму, он применяется при возведении арочных и сводчатых конструкций. Этот кирпич отличается от первого типа не только формой, но и составом, что влияло на его механические свойства. В глину при производстве кирпича второго типа добавляли рубленую солому, уменьшая количество песка, что снижало объёмный вес кирпича и делало его более пластичным. Короче говоря в наиболее ответственных элементах конструкции применялся не просто более качественный кирпич, а кирпич с важными с точки зрения сейсмостойкости свойствами, легкий и пластичный. После такого краткого вступления можно непосредственно заняться конструкцией Высокого дворца.

Дворец был поднят на огромной высоте 14,3 м платформе, разрез которой показан на рис. 4. Платформа имеет вид правильной четырехугольной усеченной пирамиды. Размер нижнего основания 92,5 x 92,5 м, верхнего 82,5 x 83,1 м. Для представления о масштаб-

ности платформы могут сообщить, что на её строительство ушло 6 млн. штук тех гигантских кирпичей, о которых мы уже говорили. Назначение платформы многоцелевое. Это, прежде всего, оборона, далее защита от наводнений, основание под сооружения, построенные на плохих илистых грунтах, возвышение царского дома и, наконец, главное с нашей точки зрения, защита сооружений поставленных на эту платформу от сейсмических волн. Кстати, сооружения Нижнего дворца также поставлены на платформы, правда уже не на такие гигантские и для каждого сооружения своя платформа, что уже хуже с точки зрения обеспечения сейсмостойкости этих сооружений. Разберем подробнее вопрос о сейсмонизирующих свойствах таких платформ в зависимости от их размеров и материалов, из которых они сделаны.

На рис. 4 дан разрез стен Высокого дворца, фундаментов под ними и платформы под весь дворец. Форма опорной платформы под весь дворец в виде усеченной пирамиды способствует её общей устойчивости во время землетрясения. Замечательна конструкция всей платформы. Она по периметру охвачена мощной прочной стеной из кирпича на глиняном растворе. Центральная же часть платформы заполнена слоистыми субструкциями, выполненными из кирпича на толстых слоях из песка и глины. Расчетную модель такой платформы можно представить как поставленную на поверхность земли гигантскую прямоугольную обойму, внутреннее пространство которой представляет собой слоистая пластично-рыхлая масса, на которую и поставлены сооружения. Вот эта-то рыхлая слоистая масса и дает сейсмонизирующий эффект. В ней сейсмические волны затухают, рассеиваются и отражаются от слоев. Эффект сейсмонизации усиливается от того, что мягкая платформа стоит на поверхности земли. В этом случае сейсмические волны возмущают не только через нижнюю поверхность, а стенки остаются свободными от сейсмического воздействия. Это был приведен пример мягкой платформы. Естественно, чем она больше по абсолютным размерам и чем она мягче, тем эффект сейсмогашения от неё больше. Существует и другая крайность — жесткие платформы, о них будет рассказано, когда будем говорить об армянском храме Гарни. Жесткие платформы также дают

эффект сейсмоизоляции и чем они жестче, больше и тяжелее, тем этот и эффект больше. Но здесь уже эффект сейсмоизоляции связан с сильным отражением и подавлением сейсмических волн. Примером тому могут служить египетские пирамиды.

Будем дальше изучать разрез платформы Высокого дворца, показанный на рис. 4. Под внутренними стенами дворца были устроены податливые подушки из кирпича на песке, что обеспечивало равномерные осадки стен и предохраняло их от сейсмических ударов, если они частично все-таки проходили сквозь нижележащую платформу. Внешняя стена дворца для обеспечения ее устойчивости во время землетрясения снабжена через каждые 1,8 м парными выступами. Теперь о перекрытиях дворца. Во дворце встречаются два вида перекрытия, плоские по деревянным балкам и сводчатые из специально приготовленного кирпича. Любопытно, что для сооружений Хорезма того времени характерны своды в виде эллипсов или близкие к ним, что повышало сейсмостойкость таких сводов. Кроме того, эти своды выкладывались в несколько рядов, что обеспечивало им высокую надежность. Некоторые из них уцелели до наших дней. Как облицовочный материал уже тогда начали применять обожженный материал.

Если внимательно присмотреться к развалинам залов Высокого дворца, то можно встретить и еще что-нибудь интересное для нас. Вот посмотрите, обнажился слой сырцовых кирпичей и на каждом из них виден след человеческой руки. По грани изготовленного сырого кирпича, мастер пальцами провел борозды. Совершенно понятно, что делал он это для улучшения сцепления между кирпичами. Греки тоже внутренние поверхности своих мраморных блоков делали шероховатыми, чтобы увеличить сцепление между ними. Обратим внимание на еще одну интересную деталь. Уже было сказано, что во дворце применялись плоские перекрытия. В случае небольших пролетов деревянные балки перекидывались со стены на стену, на них накат из жердей, далее слой камыща, промазанный глиной с соломой. На них уже слой или два кирпичей на глине. Вот и готово перекрытие. А как быть, когда пролеты большие и парадные залы высокие. Древние строители прекрасно нашли выход и в этом случае. Устраивались промежуточные опоры в виде деревянных колонн с каменными базами (рис. 5). В этих каменных

базах имелось в центре отверстие, куда вставлялся нижний конец деревянной колонны. Соскочить при землетрясении такая колонна со всей базы не могла. Шарнир, образованный в нижней части колонны, обеспечивал ее надежную работу, так как изгибающие моменты в колонне возникнуть не могли и она работала только на сжатие. Горизонтальные же нагрузки от легкого деревянного перекрытия во время землетрясения воспринимались кирпичными стенами. Такого же типа каменные базы и колонны существовали на Кавказе, они же стали традиционными и в Средней Азии.

Еще пример одного древнейшего храма, чтобы у Вас не было впечатления, что они были только кольца образными. В Согдиане существовал другой тип храма, ступенчатый, квадратный в плане (рис. 6). Этот тип храма был, пожалуй, более распространенным. Он встречается среди бактрийских, парфянских и сасанидоиранских архитектурных памятников. Показанный на рисунке храм огнепоклонников был открыт к северу от Самарканда в Кургантепе. Он датируется I—II вв. н. э. По форме рассматриваемый храм огнепоклонников очень напоминает закураты Месопотамии. Он поставлен на однородную платформу, выложенную из крупного сырцового кирпича и пахсы. Размеры платформы в плане 25×25 м и высота около 1 м. Следующие ступени уменьшаются в плане и имели высоту соответственно 1,75; 1,0; 0,5; 1,5 м. Материал этих ступеней тот же, что и нижней платформы. Вся эта пирамида является основанием под почти квадратный храм размером в плане $11,5 \times 15$ м, поставленный на верхнюю ступень величиной 15×15 м. Создание такой распластанной пирамиды под храм связано, мы думаем, не столько с требованиями культа огнепоклонников, сколько с учетом плохих лессовых грунтов основания. Вернее, пирамидообразная форма основания под храмы была выработана в связи с тем, что и здесь в Средней Азии и в Месопотамии, необходимо было строить надежные сооружения, поставленные на плохие грунты. Внутреннее пространство храма разделено на несколько помещений продольными и поперечными стенами, выполненными из того же крупного кирпича сырца размером $45 \times 23 \times 10$ см. На гранях этого кирпича видны все те же известные нам борозды — следы человеческой руки, проведенные для улучшения сцепления. Перекрытие помещений было плоским, опирающимся на

деревянные, несущие балки. Объяснять еще раз сейсмостойкость сооружения, выполненного из пластичного материала с легкой кровлей, стоящего на распластанном пирамидообразном основании из такого же пластичного материала, мы думаем, не требуется. Кстати, взгляните на оборонительные стены, виднеющиеся сзади храма (рис. 6). Видны башни-контрофорсы, поддерживающие эти стены на случай землетрясения.

Древнейшие сооружения Средней Азии весьма многообразны. Здесь можно было встретить цилиндрическую буддийскую ступу, стоящую на высокой (4 м) прямоугольной платформе. Или даже огромной, длиной в 51 м христианский храм секты манахейцев, названного Хароба—Кошук. Этот храм был разделен на семь отсеков и перекрыт цилиндрическими сводами. Все это возводилось из большего размера сырцового кирпича, поэтому до нас дошло в виде оплывших глиняных массивов.

Здесь хочется обратить ваше внимание на типичные оборонительные сооружения раннего средневековья на так азываемые кешки или замки феодалов. Их внешней особенностью является обработка наружных стен полуцилиндрами или «гофрами» (рис. 7). На приведенном рисунке показана так называемая Большая Кызкала в Старом Мерве. Эти кешки были прямоугольными в плане сооружениями на высокой массивной платформе. В центре был расположен обширный центральный зал, а по краям находились более мелкие помещения, как правило, в два этажа. Перекрытия были плоские, подобные тем, что были уже описаны в Высоком дворце Топрак-кала. Такая форма и конструкция оборонительных сооружений полностью соответствовала местным условиям и главным образом тому строительному материалу, из которого они возводились. А строились они целиком от платформы — фундамента, стен и до перекрытия из сырцового кирпича с применением некоторого количества дерева для балок перекрытий, дверей и армирования глиняных массивов. Строить высокие оборонительные башни подобные тем, что возводились из камня на Кавказе, из пластичного и непрочного сырцового кирпича было невозможно. Такие башни под действием собственного веса быстро бы оплывали и расползались. Позднее, когда широко станут применять прочный обожженный кирпич, возможным будет не только строить высокие мавзолеи, а

даже вонзенные в небо минареты. Традиционные кешки полностью по своей конструкции соответствуют сырцовому крупноразмерному кирпичу. Наружные их стены имеют толщину порядка 2,5 м. Для облегчения этих стен и придания им жесткости, устраивалась из полуцилиндров гофрированная поверхность. По сути дела это были часто поставленные контрофорсы. Внутренние стены были тоньше, они взаимно пересекаясь, шли в продольном и поперечном направлениях, образуя большой центральный зал и более мелкие помещения вдоль наружных стен. Короче говоря, прямоугольная сетка взаимосвязанных стен, да еще дополнительно обвязанная понизу платформой, образовала единый пространственный массив, устойчивый против землетрясений. Симметрия масс, пластические свойства материала, платформа-фундамент, уклон и гофры наружных стен, каркас из дерева, гармония размеров — все это обеспечило сейсмостойкость этим сооружениям. Их могло разрушить только время (2, 3).

Не будем далее останавливаться среди древнейших построек из сырцового кирпича и отправимся по реке времени к более совершенным сооружениям из обожженного кирпича. Каменными конструкциями здесь в Средней Азии мы заниматься не будем, т. к. они встречаются чрезвычайно редко.

ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ СРЕДНЕАЗИАТСКИХ МАВЗОЛЕЕВ И МЕЧЕТЕЙ

Уже на нашей с вами памяти земля Средней Азии много раз содрогалась от ударов сейсмической стихии, а за свою беспоконную историю эта земля перенесла множество катастрофических землетрясений, о чем свидетельствуют мгновенно разрушенные города до сих пор погребенные под песком. Естественно, что древние мастера с присущей им основательностью и настойчивостью искали способы защитить свои сооружения от землетрясений и вырабатывали соответствующие конструктивные решения и строительные приемы. Попробуем разобраться в антисейсмических строительных приемах зодчих Средней Азии. Начнем наш анализ с объемно-планировочных решений монументальных сооружений, так как именно эти решения во многом определяют сейсмостойкость конструкции. При этом, если

проводить анализ естественным образом от более древних сооружений к более современным, то оказывается, что самые древние, имевшие наиболее простую форму, будут лучшим образом отвечать требованиям сейсмостойкости, чем более позднее сооружение, имевшее весьма усложненную форму.

Рассмотрим классический в этом смысле пример. Мавзолей Саманидов в Бухаре, относящийся к концу IX в., имел предельно простое объемно-планировочное решение (рис. 8). Он представляет собой поставленный на небольшую кирпичную платформу приземистый куб с размерами в плане $10,8 \times 10,8$ м и высотой 9,0 м. Массивные стены толщиной 1,8 м как и все сооружение выполнены из обожженного кирпича на прочном и пластическом ганчевом растворе. Об этом замечательном растворе подробно расскажем дальше. В этом мавзолее блестяще решена извечная проблема сопряжения квадрата стен здания и круглого основания купола. С точки зрения сейсмостойкости сооружений это очень важная задача, так как в этом сопряжении необходимо избежать всякого рода концентраций напряжений и неравномерностей передачи нагрузок от купола на стены. Совершенно очевидно, что одновременно с задачей сопряжения стен и купола, здесь решалась задача облегчения верхней части мавзолея. Было найдено следующее решение. На массивные стены установлены тонкие арки: четыре арки над средней частью стен и четыре арки над углами. Эти арки поддерживают восьмиугольник стен, с которым и сопрягается купол. Чтобы, несущие купол восемь арок не опрокинулись наружу от его распора, устроена вокруг основания купола миниатюрная обходная сводчатая галерея, которая и обеспечивает равномерную передачу избыточного распора на стены. Мавзолей по сути дела является сооружением центрическим, так как все жесткости и массы в нем расположены симметрично, относительно двух плоскостей симметрии. Даже в каждой стене посередине имеются совершенно одинаковые двери, то есть ни одна из стен не выделяется архитектурно и не является парадной. Здесь имеются и другие важные антисейсмические мероприятия. Например, стены мавзолея имеют легкий наклон внутрь и соответственно весь куб мавзолея слегка сужается кверху. Кроме того, еще раз обращаем ваше внимание, что все сооружения стоят на прочной платформе, кото-

рая является надежным фундаментом мавзолея, и в то же время обеспечивает его обвязку понизу. Такая простая форма мавзолея Саманидов, хорошее качество строительных материалов и продуманность конструкции обеспечили ему существование в сейсмически опасном районе до наших дней.

Хочется назвать еще один беспортальный мавзолей, прекрасных пропорций с точки зрения сейсмостойкости, аналога которому нигде в Средней Азии нет. Это мавзолей Фахраддина Рази в Куня-Ургенче XII века (рис. 9), уцелевший после разгрома Ургенча монголами. Мавзолей небольшой, поставлен на расширяющую книзу фундаментную плиту, имеет внешние размеры в плане $6,5 \times 6,65$ м, размеры внутреннего квадратного помещения $3,63 \times 3,63$ м. Высота слегка сужающегося, как и положено, кверху куб примерно 6,7 м. Почти правильный куб мавзолея перекрыт двойным куполом: внутренним сферическим и внешним двадцатигранным коническим, выложенным методом ложного свода, то есть постепенным надвигом камней. Внешний купол опирается на двенадцатигранный барабан, плавно переходящий в стены. Внутри этого барабана и находится массивный сферический внутренний купол. Контур этого купола показан на рисунке пунктиром. Внешний и внутренний купола вместе с барабаном образуют единое замкнутое пространственное тело, что соответствует одному из основных принципов сейсмостойкого строительства. Есть тут еще один очень интересный момент. Массив куполов выложен на прочном и довольно пластичном ганче, а вот стены выложены на еще более пластичном растворе — глине. Получается, что замкнутая скорлупа куполов опирается на массивные стены, материал которых обладает упруго-пластическими свойствами. В результате стены по отношению к куполам служат изолятором от колебаний грунта, возбуждаемого сейсмическими волнами. Вот видите даже самые ранние беспортальные мавзолеи имели хорошо продуманную конструкцию.

Давайте дальше изучать эволюцию объемно-планировочных решений среднеазиатских мавзолеев и мечетей. Не будем метаться по всей обширной стране киргича и солнца в поисках подходящих примеров, а отправимся в Самарканд, город, над которым пронеслись все бури Средней Азии и соответственно в древних памятниках которого запечатлелась вся история

строительного искусства той эпохи. Здесь можно встретить архитектурный памятник любого времени. Чтобы получить представление об эволюции объемно-планировочных решений этих памятников и выяснить как это влияло на их сейсмостойкость, достаточно рассмотреть комплекс культовых сооружений, который начал формироваться на юге Самарканда в XI веке возле мнимой могилы Кусам ибн Аббаса (Шахи-Зинда живой царь) и продолжал достраиваться в XV веке. Кусам ибн Аббас — личность вполне реальная и значительная, он был двоюродный брат пророка Мухаммеда, явился с первыми войсками арабов в Самарканд в VIII—IX веке и тут погиб. Как он погиб, никто не видел, вроде бы он спустился в какую-то пещеру, так и оставшись навсегда живым. Рассмотрим в исторической последовательности памятники этого ансамбля.

На рис. 10 показаны четыре мавзолея относящихся к различному времени. О самых древних симметричных мавзолеях было уже рассказано. Далее перешли от равных между собой фасадов к выделению главного. Кончилось все это сооружением пышных, часто очень массивных порталов, которые нарушили окончательно центричность этих мавзолеев. При этом несмотря на то, что хотя одна плоскость симметрии сохраняется, равномерное распределение масс и жесткостей уже не соблюдается. Первым на рис. 10 показан мавзолей, в котором можно сказать только-только проявились ростки будущих великолепных порталов. Это пропорционально сложенный, умеренных размеров, с очень небольшим порталом мавзолей Ходжа Ахмада. Купол у этого мавзолея еще одинарный с небольшой стреловидностью. Распор от купола воспринимают стены, усиленные арками, перекрывающие ниши, устроенные в стенах для их облегчения. Особых претензий с точки зрения сейсмике к объемно-планировочному решению этого мавзолея нет. Но все же наличие небольшого портала нарушает центричность этого памятника.

Под вторым номером на рис. 10 показан представитель нового поколения мавзолеев, это мавзолей Шади-Мульк-ака XIV в. Здесь уже увеличился пролет купола и его для прочности подпирают ребра жесткости, образующие подкупольный каркас. Давление на грунт под самим мавзолеем и его порталом получают различными, под порталом оно, как правило, больше. Это прекрасно понимали древние строители и поэтому соот-

ветственно увеличивали глубину заложения фундамента под порталом. Отсюда получилось нарушение принципов сейсмостойкости о необходимости соблюдения равномерного распределения масс и жесткостей. При таком нарушении получается перегруженным место соединения основной массы мавзолея с далеко выступающим порталом и соответственно с этого места может начаться разрыв всего сооружения во время землетрясения. Примером этому может послужить так называемая «мечеть в Анау», на самом деле мавзолей шейха Джемал-уль-Хак-Уаддина, построенный в середине XV в. (рис. 11). Этот мавзолей расположен на невысокой возвышенности, недалеко от Ашхабада и выложен из квадратного обожженного кирпича очень хорошего качества на ганчевом растворе. Это не помогло, разрушение памятника архитектуры началось с отслоения портала и трещин в куполе, закончилось полным обрушением при Ашхабадском землетрясении 1948 г.

Следующий этап развития купольных сооружений представлен мавзолеем Ширин-бек-ака, его разрез показан на рис. 10 под третьим номером. Здесь уже применяется двойной купол, внешний и внутренний. При этом форма внешнего стреловидного купола слегка вытянутого вверх такова, что он не передает почти распора на стены. Вот тут-то и возникает поневоле вопрос. Откуда такая красивая форма мусульманских куполов? Она связана с принципами религии или для обеспечения прочности куполов во время землетрясений. Думаем, что здесь то и другое. Рационализм мышления древних строителей, учитывавших то, что большинство мусульманских стран расположено в сейсмически опасных зонах, выработал такую форму куполов. Кстати внешний и внутренний купола, как правило, соединялись внутренними вертикально поставленными ребрами в единую пространственную систему, не передающую горизонтального распора на нижележащие конструкции.

Вообще конструкция среднеазиатских двойных куполов с внутренними ребрами, связывающими их и перераспределяющими между ними нагрузку была просто замечательной. До сих пор можно увидеть треснутые пополам с огромными вываливающимися фрагментами купола, не рухнувшие полностью и продолжавшими сохранять равновесие оставшихся частей. Этого

не могло быть, например, с византийскими куполами. Они обрушивались сразу и целиком. Здесь же стремились к уравниванию каждой части. Кстати, стрельчатую форму имели не только мусульманские купола, но и арки (рис. 12). С художественной точки зрения это красиво, а с конструктивной — надежно. При землетрясении в такой арке могут образоваться шарниры не только в замке, но и в опорах, и все же это не ведет к полному обрушению. Круглая арка в таком бы случае уже разрушилась. Итак, двойные купола стрельчатой формы, образующие единый замкнутый однородный массив, вполне соответствуют принципам сейсмостойкости.

На грани XIV—XV веков в архитектуре культовых и мемориальных сооружений произошел, можно сказать, количественный и качественный взрыв. Это связано с появлением мировой империи Темура со столицей Самарканда, в которой сосредотачиваются огромные богатства, куда доставляются лучшие мастера со всех концов империи, где создаются огромные армии чернорабочих. Все это создает исторические и экономические предпосылки, когда для возмещения восточного деспота эволюция купольных сооружений достигает своей высшей точки. От приземистых кубических построек, которые лучше всего соответствовали условиям сейсмостойкости, до украшенных богатыми порталами сооружений и теперь к великолепным стройным мавзолеям, с высоко вознесенными к голубому небу, на барабанах бирюзовыми куполами, появившихся в эпоху Темура, такова эволюция купольных сооружений. Растут размеры сооружений, архитекторы заболевают гигантоманией, башни минаретов устремляются в стратосферу. Возникшие новые сложные задачи по возведению огромных куполов на большой высоте, требуют соответственно развивать строительную технику. При этом увеличение размеров мавзолеев, невероятная стройность и высота минаретов, большие пролеты куполов, поднятых на огромную высоту, все это вступает в противоречие с принципами сейсмостойкого строительства. Нет сомнений, что это прекрасно понимали зодчие древности, и они начинают бороться за сейсмостойкость своих гигантских сооружений. Фундаменты эпохи Темура отличаются значительной заглубленностью, нормой считается фундамент, заложённый на глубину 4—5 м из камня на специальном

водоустойчивом «кыровом» растворе (известь, песок, зола), что обеспечивает надежное основание для мощных порталов и высоких минаретов. Кладка стен из обожженного кирпича на ганче удовлетворяет новым повышенным требованиям, она монолитна, прочна и при этом обладает пластическими свойствами. Самые большие проблемы возникают с возрастанием пролетов сводов и куполов. Все купола теперь делаются двойными с внутренними ребрами, обеспечивающими передачу нагрузки на стены и внутренний купол. Самым замечательным здесь является то, что одновременно разрабатывается система подпружных арок, поддерживающих свод и барабан купола, которая позволяет больше увеличить подкупольное пространство без дополнительных опор. Одновременно, за счет применения этой системы арок, снижается вес всего сооружения. Стремясь еще больше понизить вес сооружения, зодчие древности вместо куполов из жженого кирпича начинают их изготавливать из ганча, в виде тонкостенных сводов и куполов-оболочек. В качестве примера такого конструктивного решения на рис. 13 показан самаркандский мавзолей Ишрат-хана, относящийся к XV веку. Из рисунка видно, какую сложную каркасную пространственную систему образуют подпружные арки. Из приведенной схемы видно активное стремление зодчих древности не просто снизить вес сооружения, но и понизить положение центра тяжести всего сооружения, так как сам мавзолей служит как бы распластанным, заглубленным в грунт основанием под свечу купола. Этот слишком вытянутый вверх купол, несмотря на то, что был предельно облегчен в соответствии с возможностями того времени, являлся самым слабым звеном в конструкции мавзолея. Это подтвердилось землетрясением 1903 года, когда рухнул излишне стройный купол центрального зала, но не забывайте, что этот купол все-таки простоял пять столетий и особых претензий к строителям того времени быть не может. Они умели строить. Существовали также каркасные системы, поддерживающие и усиливающие купола повышенной прочности. Такие системы имели большое сечение составляющих их арок и поэтому, чтобы не портить внутренний интерьер, располагались на внешней поверхности куполов.

Короче говоря, в XV в. значительно усложняется композиция сооружений. Наряду с вознесенными высо-

ко в небо куполами, чем уже был нарушен один из основных принципов сейсмостойкого строительства о гармоничных размерах сооружений, стали к тому же строить двухкупольные мавзолей, под которыми организовались два помещения для захоронения и для выполнения обрядов. На четвертой схеме рис. 10 приведен пример двухкупольного мавзолея XV в., приписываемого раньше Казы-заде Руми. Как вы видите из рисунка, принцип равномерного распределения масс и жесткостей здесь не соблюдается совершенно. Разное заглубление фундаментов, разные купола, поднятые на разную высоту, выступающий портал, разная толщина стен. Однако даже в этом случае сейсмостойкость мавзолея была обеспечена, он стоит до сих пор.

Из уже сказанного понятно, что древние строители прекрасно понимали, какую опасность, с точки зрения сейсмостойкости, представляет гигантомания в архитектуре. Рост размеров сооружений, повышение их центра тяжести за счет вознесения куполов ввысь, увеличение пролетов арок и куполов, да еще несоблюдение симметрии в многокупольных мавзолеях, все это снижало сейсмостойкость сооружений нового поколения. Зодчие древности соответственно стремились решить возникшие проблемы путем совершенствования конструкций. Кое-что об этом было уже рассказано. Рассмотрим еще один мавзолей того времени.

Темур после своих блистательных побед над Золотой Ордой, руководствуясь политическими и религиозными мотивами, повелел построить на месте старой усыпальницы шейха Ахмеда Ясави, относящейся к XII в., новую, невиданной еще пышности и размеров, в городе Яссы, теперь Туркестан. В обсуждении размеров сооружения и его компоновки участвовал непосредственно сам Темур. Строительство началось в 1397 г. и велось очень быстрыми темпами, но отправившись в поход в Китай в 1405 г., Темур внезапно умер и строительство прекратилось и не закончено оно до наших дней.

Мавзолей Ахмеда Ясави содержит не только саму усыпальницу, но он представляет собой целый комплекс, куда еще входит казанлык, мечеть, медресе с библиотекой, халимхана, в которой раздавалась еда странникам два раза в неделю и кое-что другое. Мавзолей-мечеть Ахмеда Ясави представляет собой огромное с одной плоскостью симметрии портално-купольное сооружение. На рис. 14 показан общий вид, план и

продольный разрез сооружения. Его размеры в плане 46,5×65,5 м, ширина портала 50 м, порталная арка имеет пролет 18,2 м, диаметр основного купола тоже 18,2 м. Это самый большой из сохранившихся в Средней Азии купол. Толщина наружных кирпичных стен до 2,0 м, толщина внутренних стен, на которые опирается центральный купол, до 3,0 м. Не будем углубляться в бурную историю этого выдающегося памятника архитектуры, прошедшего сложный путь от разграбления его ордами Золотой Орды хана Тохтамыша, до сталинских лагерей нашего времени. Займемся его сейсмостойкостью.

Начнем с фундамента. Загадка, почему добросовестные строители того времени очень легкомысленно отнеслись к фундаменту этого замечательного сооружения. Обычно фундаменты эпохи Темура поражают своей излишней прочностью, как уже говорилось, они складывались из крупных камней на водоустойчивом растворе извести с золой, что придавало им особую прочность. Здесь же, под зданием мавзолея, не было возведено солидного фундамента. Под его стены, на глубину всего 25—30 см, было лишь положено несколько рядов небрежной кирпичной кладки, а в котлован под тяжелый портал насыпали гальки с землей. Хотя причина, из-за которой ансамбль Ахмеда Яссави был возведен на слабых фундаментах, думаем лучше понятна нам, чем людям того времени.

Темур отправился в путешествие навстречу своей невесте Тугаль-Ханым, а тут надо было ехать в сторону закладывать мавзолей, отвлекаться от приятных ожиданий, настроение испорчено. Верноподданные, естественно, стараются угодить, показать свою расторопность, тут же не до скрытых под землей фундаментов, скорее надо возводить стены внушительных размеров перед светлым ликом повелителя. Короче говоря, скалтурил древний строитель, все знал, но обстоятельства оказались сильнее. К счастью сильные землетрясения пока не очень беспокоили этот архитектурный памятник, и все-таки плохой фундамент служил основной причиной его разрушения от неравномерных осадков, так как стоит он на слабых грунтах. Большой вред основанию мавзолея нанесли в 1846 г. кокандские войска, которые для того, чтобы захватить правителя Туркистана Канат-шаха, засевшего в стенах мавзолея, с по-

мошьо системы плотин затопили его, и основание мавзолея долгое время стояло затопленным.

Но самое, пожалуй, интересное, в чем заключается секрет сохранности мавзолея Ахмеда Яссави при его повышенной сейсмичности, и имевших место в прошлом огромных размерах на плохих фундаментах в условиях сильных увлажнений лессовых просадочных грунтов, заключается в том, что он разрезан на восемь независимых пространственных блоков. Конструктивно антисейсмические швы оформлены в виде четырех сквозных двухэтажных коридоров, которые позволяют отдельным частям сооружения двигаться во время землетрясения или при неравномерных осадках независимо, не вызывая дополнительных перегрузок в большиеразмерном сооружении. На разрезе мавзолея видно, что главный купол опирается на внутренние стены, обеспечивающие ему самостоятельную опору. Вот такой разрезкой на отдельные блоки боролись древние строители с гигантоманией.

Вокруг так и не достроенного мавзолея-мечети Ахмеда Яссави всегда жили шейхи, наблюдавшие за порядком в нем и справлявшие необходимые обряды. Было предпринято несколько попыток достроить его. Так владетель Бухары Абдулла-хан пытался достроить мавзолей в XVI в. Он свел главную арку портала и сделал кое-что еще. Жаль, что он также не приказал заодно возвести минареты по краям портала, которые предполагал поставить Темур. Вес этих минаретов уравновешивал бы распор от арки портала. Бросается также в глаза, что мавзолей стоит без облицовки, одно из назначений которой защищать кладку от внешнего воздействия.

Весь разговор о мавзолее Ахмеда Яссави был затеян для того, чтобы рассказать о том, что древние строители уже понимали необходимость разрезать большие со сложным распределением масс сооружения на простые элементы. Вообще, этот строитель понимал больше, чем нам представляется. Вот любопытный пример из конструкции этого же мавзолея. Была обнаружена арка из обожженного кирпича, на неведомом смолообразном растворе с очень высокими упруго-пластическими свойствами. Раствор этот представляет собой смесь какой-то загадочной смолы с песком и лессом. Нанесенный на кирпич в подогретом состоянии, он схватывается с ним необычайно прочно, придавая конструкции

из такой кладки высокую прочность и повышенные упруго-пластические свойства. Совершенно ясно, что один только такой раствор, примененный при кладке стен, в таких ответственных конструкциях, как арки и купола, придает им исключительную долговечность и главное для нас — сейсмостойкость. Нет сомнений, что этот невиданный смолообразный раствор был получен в результате глубоких творческих поисков. При этом была четко поставлена задача. Противоречие между стремлением к грандиозному в эпоху Темура и техническими возможностями того времени достигает своей высшей степени в соборной мечети Биби-Ханым. Строительства таких размеров еще не было в империи. Заложена она была в честь победы Темура в Индии в 1399 году и закончена в 1404 году. «Купол ее был бы единственным, если бы небо не было его повторением, единственной была бы арка, если б Млечный Путь не был ее парой!» — так сказал об этой мечети Шериф-эд-Дин. Предание гласит, что Темура был поражен увиденной им мечетью в Дели и решил построить еще более прекрасную и огромную. Со всей Средней Азии и из покоренных стран были собраны лучшие специалисты во всех областях строительного и декоративного искусства. В этой мечети, как бы синтезировались восточные достижения зодчества Среднего и Ближнего Востока конца XIV столетия.

План мечети Биби-Ханым показан на рис. 15. Ее размеры: ширина 99,1 м, длина 143,0 м. Вход в мечеть был оформлен огромным порталом со сводом в 19,0 м. Пройдя через металлические ворота, издававшие при их открывании приятные высокие звуки, правоверные попадали в обширный двор размером 78×64 м, окруженный мраморными колоннами. Число этих колонн было 400, они поддерживали портики-навесы и куполы, создавшие крытое от непогоды пространство вокруг двора. Прямо по центральной оси симметрии расположено главное здание мечети опять с обширным порталом и куполом, поднятым над землей почти на 50 м. По бокам были расположены еще две меньших мечети. По углам всего сооружения были расположены высокие минареты. Итак, в конструктивном смысле объемно-планировочное решение мечети Биби-Ханым было следующим. Четыре тяжелых жестких массива, к которым примыкало более легкое перекрытие, поддерживаемое колоннами. Ясно, что эта колон-

нада почти не несла горизонтальные нагрузки, возникающие во время землетрясения. Воспринимались же эти нагрузки или указанными четырьмя массивами или внешними стенами, окружавшими всю мечеть по периметру. Вот тут-то и видна главная ошибка зодчих древности. Внутренней-то обвязки колоннады вокруг открытого двора нет. Получилась конструкция неоднородной жесткости. Неоднородно же горизонтальными нагрузками загружались колонны во время землетрясений. Особенно в тяжелом состоянии находились колонны, примыкавшие к внутреннему дворик. Их то прежде всего и разрушили землетрясения. После того, как подземная стихия расправилась со стройными мраморными колоннами, были обрушены высоко вознесенные в небо купола, расшатаны арки порталов и сломаны башни минаретов. Последней в 1897 году рухнула внутренняя стена портала. Величественные развалины четырех массивов мечети Биби-Ханым до сих пор возвышаются над садами Самарканда. Это говорит о том, что это все-таки была настоящая архитектура. Преодолеть же противоречие между возможностями строительной техники того времени и потребностями восточного владыки зодчим оказалось не под силу. Хотя строители подошли к решению конструктивных деталей всего сооружения очень внимательно. Фундаменты глубоки и массивны, кирпичная кладка на ганчевом растворе прочна и монолитна, мощные пилоны и башни порталов держат распор от большепролетных арок, переход от квадратов плана зданий к кругу куполов выполнен плавно, внешние и внутренние купола образуют единую пространственную систему. Но гигантомания и неоднородная жесткость погубили это замечательное сооружение. Интересно, что разрушение этой мечети произвело на строителей того времени такое впечатление, что они в Средней Азии больше не применяли каменные колонны.

Кстати, любопытен и такой момент. Есть свидетельства очевидцев, что уже в первые годы после возведения мечети Биби-Ханым, кирпичи стали валиться на головы молящихся. Существовала даже такая приписка: «О мечеть, следовало бы тебя назвать запретною, а молитву в тебе совершаемую, — молитву страха!» Почему падали кирпичи при известной хорошей кладке, сейчас уже трудно установить. Может быть, многочисленные колонны давали неравномерную усад-

ку, и разрушалось соответственно большемерное многокупольное перекрытие, может быть в этом перекрытии возникли температурные или усадочные напряжения. К тому же землетрясения раскачивали это многоколонное чудо, не замкнутое стенами по внутреннему контуру. Вот и шел процесс постепенного разрушения колонн и поддерживаемых ими небольших куполов, который естественным образом, закончился полным обрушением всей этой неустойчивой конструкции при землетрясении.

Ознакомясь с одним из замечательных творений искусства зодчих постройками ансамбля «Регистан».

Начало оформления площади Регистан принадлежит внуку Темура Улугбеку. Сделав Регистан единым ансамблем (1417—1420 г. г.), Улугбек обогатил архитектурно-градостроительные идеи XIV—XV в. в. Площадь Регистан стала третьим и центральным ансамблем города — средоточием его экономической, политической и культурной жизни.

Современный ансамбль Регистана сложился в основном в XVII веке и состоит из трех медресе — Улугбека, Шир-Дор и Тилля-Кари (рис. 16).

Медресе Улугбека, законченное в 1420 году, явилось новым словом в архитектуре. У этого здания (56×81 м) квадратный двор, во двор входят четыре портала. Могучий портал входа в медресе занимает 2/3 длины лицевого фасада. Торцовые части постройки одинаково развиты в ширину, по обе стороны входа размещаются крестовые аудитории, по другую сторону двора вытянутый зал мечети. Двухэтажное здание медресе имело четыре высоких купола над угловыми аудиториями и четыре двухзвеневых минарета по углам. Стрельчатая арка портала пролетом 18 м обрамлена жгутом.

Спустя двести лет (1619 г.) по инициативе правителя Ялангуша было построено медресе Шир-Дор. В этом здании повторена композиция фасада с огромным порталом и минаретом, по обе стороны портала поднимаются два бирюзовых рубчатых купола. Размеры медресе Шир-Дор почти такие же, как медресе Улугбека. Шир-Дор — это обычное медресе с мечетью и аудиторией в лицевой части, с равной шириной корпуса по боковым и задней сторонам. Планировка его почти повторяет общую композицию медресе Улугбека, однако в деталях есть отличие.

Закончив строительство медресе Шир-Дор, Ялангуш-Баходир десятью годами позже начал сооружение медресе-мечети, которое в дальнейшем получило название Тилля-Кари. Сооружением Тилля-Кари окончательно сформировался замечательный ансамбль Регистан. При проектировании было решено в здании медресе совместить высшую школу с соборной мечетью, а также максимально использовать фундаменты бывшего Караван-Сарая. Главный входной портал, обращенный к площади, прорезан глубокой пятигранной нишей с двумя входами, ведущими в большой замкнутый двор. По обе стороны портала протянуты в два яруса арки, завершаемые на углах двумя массивными башнями. В корпусе медресе Тилля-Кари помещается с западной стороны городская соборная мечеть с галереями. Помещение мечети перекрыто двойным куполом.

В сооружениях ансамбля Регистан всего построено 9 куполов диаметров 8—9,5 м и из них трое перекрыты двухъярусными.

Теперь о сейсмостойкости сооружений ансамбля. За более чем пятивековое существование сооружения ансамбля многократно подвергались воздействиям землетрясений. Однако, выдержав испытания судьбы, они без серьезных последствий сохранились до наших дней.

Строительство медресе Улугбека начиналось, когда мечеть Биби-Ханым начала активно разрушаться. Поэтому зодчие и строители старались избежать роковых ошибок своих предшественников.

Анализ объемно-планировочных и конструктивных решений сооружений ансамбля с точки зрения сейсмостойкости, дает основания говорить о том, что Улугбек был не только великим астрономом, но также великим зодчим и строителем своего времени. Объемно-планировочные и конструктивные решения сооружений ансамбля отвечают практически всем требованиям сейсмостойкого строительства. Здесь очень серьезно соблюдены принципы симметрии и центричности, геометрической гармонии и замкнутости контура.

Если говорить обобщенно, то следует отметить, что все три сооружения ансамбля имеют простую прямоугольную и компактную форму, что очень благоприятно с точки зрения восприятия сейсмических сил. Практически везде наблюдается симметричное распределение веса и жесткости относительно плоскостей сим-

метрии, проходящих через центр тяжести сооружения (минаретов, порталов, куполов).

В 1922 году облетело весь мир сообщение о выпрямлении минарета Улугбека творческим содружеством двух выдающихся инженеров В. Г. Шухова и М. Ф. Мауэр. Приведем цитату из работы (29). Тремя десятилетиями раньше Жюль-Верн писал: «Склонившиеся минареты вот-вот упадут, но никогда не падают, к счастью для их эмалевой облицовки... А ведь дело тут идет не о какой-нибудь вазе, которую ставят на камни и цоколь, а о минаретах внушительной высоты». Мог ли он предполагать, что «двойник» Пизанской башни 32-метровый минарет поднимут с ювелирной точностью всего за 3 месяца с помощью 13 рабочих (29).

Следует сказать, что наклон минарета Улугбека, осадка медресе Тилля-Кари и другие негативные явления в сооружениях ансамбля исключительно связаны с грунтовыми условиями района строительства.

В карте микросейсмораионирования Самарканда, составленной институтом сейсмологии АН Узбекистана, положены грунтовые условия. Согласно ей, территория города по сейсмичности подразделяется на 8 и 9 балльные зоны, большую часть занимает 8-балльная зона. Грунты, расположенные в этой зоне, характеризуются небольшим слоем антропогенных отложений (1—3 м).

Зона старого города (Биби-Ханым, Регистан) и прилегающие к ней территории относятся к зоне с 9-балльной сейсмичностью. На этой территории в основном залегают антропогенные отложения мощностью 4—21 м, а современные здания на этой территории в основном построены на искусственном основании. Мощность культурного слоя под сооружениями ансамбля Регистан составляет 6—9 м.

Результаты ранее проведенных нами натуральных обследований показали, что в результате газлийского землетрясения, которое проявилось в Самарканде интенсивностью лишь 6 баллов, многие кирпичные здания, построенные в 9-балльной зоне, получили очень серьезные повреждения соответствующей 3 степени (рис. 17). Эти повреждения прежде всего объясняются влиянием сильной просадки грунта под зданием, и есть опасения, что эти здания вряд ли могут противостоять 7—8-балльным толчкам. Эти данные приведены для сравнения.

Теперь вернемся к цитате Жюль-Верна о падающем минарете медресе Улугбека.

Как известно, решающим фактором сейсмостойкости кладки является его монолитность, определяемая нормальными и касательными сцеплениями раствора с кирпичем, а также упруго-пластические свойства конструкций кладки. Эти показатели сейсмостойкости кладки сооружений ансамбля Регистан выполнены на высоком уровне с применением состава кладочных растворов, о которых подробно расскажем в следующем разделе.

Отметим, что минарет Улугбека в результате просадки грунта наклонялся как целая монолитная конструкция, а не разрушался. Повреждения других частей сооружения также в основном связаны с просадочностью грунтов этой зоны.

Откровенно говоря, иногда становится печально, когда смотришь на результаты труда и методы строительства наших «уважаемых» строителей нынешнего поколения. В настоящее время для того, чтобы обеспечить сейсмостойкость кирпичной кладки применяются антисейсмические усиления (сердечники, пояса и т. д.). Но эти мероприятия приводят к удорожанию стоимости здания (до 10—12%) и усложняют технологию их возведения.

Но самое главное, эти усиления не дадут практически никакого эффекта, если не будет обеспечена монолитность кладки.

Древние строители прекрасно понимали важность обеспечения монолитности в кладке и поэтому уделяли большое внимание для его достижения, поскольку это было гарантом сейсмостойкости их построений.

Прошло несколько столетий со времени основания ансамбля Регистан. Облицовка медресе была в большей части утрачена. Реставраторам пришлось много потрудиться, чтобы спасти уцелевшие фрагменты и по ним восстановить разрушенные части.

Сегодня ансамбль Регистан как памятник и каменное произведение искусства, созданное великим Улугбеком и Ялангушом, восхищает своей неповторимой красотой.

Теперь поговорим о минаретах, которые создают неповторимый облик древних городов Средней Азии. Вонзенные в поднебесную синеву, они издали были видны путникам. Глядя на стройные силуэты минаре-

тов, трудно поверить, что они выполнены из хрупкого кирпича. Больше того, минареты часто стоят в одиночку без положенной возле них мечети. Мечети, более жесткие, основательные и отсюда кажущиеся более прочными, давно разрушило время и землетрясение, а вот эти минареты изящные и хрупкие на вид, стоят до сих пор за счет своей гибкости и конструктивного совершенства.

Начнем с минарета Калян, который почти девятьсот лет возвышается над древней Бухарой. Два раза возводились минареты у соборной мечети в Бухаре и каждый раз в силу своего строительного несовершенства они обрушивались. Наконец, третья попытка увенчалась успехом. В 1127—1129 г. г. был возведен минарет Калян (рис. 18) на чрезвычайно прочном и глубоком фундаменте, заложенном на глубину до 10,0 м по одним источникам, а по другим, что шурф глубиной в 13,0 м так и не дошел до грунтового основания. Третьи же исследователи минаретов считают, что их фундаменты заглублялись на глубину в 0,3—0,4 м от высоты минаретов. Современная высота минарета Калян 46,0 м и есть предположение, что над фонарем, который в настоящее время венчает минарет, было второе звено, упавшее при землетрясении. Так что глубина фундамента может быть и больше 13,0 м. Диаметр минарета у основания 10,0 м. Он сложен из обожженного кирпича на ганчевом растворе. Перекрытие над фонарем замысловато, его поддерживают шестнадцать стрельчатых арок, образующих столько же (пролетов) проемов, через которые в былые времена одновременно шестнадцать муэдзинов призывали мусульман на молитву. Минарет Калян в современном виде не назовешь излишне стройным, его довольно быстро сужающаяся кверху коническая форма приземиста. Естественный отбор показал, что форма, конструкция и свойства материала минарета Калян обеспечивают ему сейсмостойкость. Он надежно стоит девять сотен лет, в то время, когда множество существовавших с ним минаретов рухнуло, остались вот такие выдающиеся единицы. Все сохранившиеся до наших дней архитектурные памятники, в том числе и минареты, очень интересны для нас не только в художественном смысле, но и в чисто практическом. Изучение древних сооружений с точки зрения сопротивляемости их сейсмическим воздействиям, позволяет нам устанавливать не только общие

закономерности конструирования сейсмостойких зданий, но и выяснять отдельные детали. Такие как глубина заложения и размеры фундамента, форма сооружения и, наконец, его динамические характеристики, которые наиболее желательны в данном сейсмоопасном районе. Вот например, современные высотные здания в Японии имеют ту же расчетную схему, что и рассматриваемый нами минарет Калян. Глубоко заложенный распластаный жесткий фундамент (рис. 19) и высокая гибкая часть. К этому надо добавить, что старые раны на древних сооружениях, трещины в стенах, сдвиги конструкций дают нам сведения о былых землетрясениях в данном месте.

Высота минаретов может меняться в довольно широких пределах, от двух-трех десятков метров до шести-семи. Для конструкции из кирпича в сейсмоопасном районе это даже многовато. Современный строитель не решится это сделать. А вот древний зодчий строил и эти минареты, хоть и не все, а стоят до сих пор. Чего здесь больше знаний или смелости, сейчас трудно определить. Кстати, заявить, что форма минаретов в Средней Азии была чрезвычайно простой, конусной, будет совершенно неверно. Все как раз наоборот. Очертания минаретов во многих случаях по высоте менялись по очень сложному закону. В нижней части минарета уменьшение диаметра его ствола вверх шло быстрее, чем в верхней части. С физической точки зрения такая форма естественна и логична. Центр тяжести всего сооружения будет расположен ниже, чем в случае простой конусности (рис. 20). Такая форма образовалась бы, если бы мы изготовили минарет правильной линейной конусности из какого-нибудь пластичного материала. Через какое-то время под действием собственного веса больше всего деформировалась бы, расплющилась бы нижняя часть минарета. Вот мы бы и получили сложную конусность древнего минарета, расширенная нижняя часть которого обеспечивает ему устойчивость во время землетрясения. Наверное вопросы формы древних минаретов никто всерьез не занимался.

На рис. 21 показан удивительно стройный, сложной конусности минарет XI века, одиноко стоящий недалеко от Куня-Ургенча. Теперь он без верхнего фонаря и все-таки его высота почти 60,0 м. Диаметр ствола минарета в основании 11,5 м. Когда рухнул фонарь это-

го минарета, сейчас установить трудно, но совершенно понятно, что причиной этого было землетрясение. Установка дополнительной массы фонаря на верхушке конуса с равномерно меняющейся геометрией, естественно меняет равномерное распределение массы всего сооружения. Во время землетрясения, соответственно в самом узком месте ствола минарета, где он примыкает к фонарю, возникают самые большие напряжения, которые могут превзойти предел прочности кирпича. При этом учтите, что верхушка минарета имеет самые большие ускорения, и следовательно инерционные силы от массы фонаря тоже большие.

Соотношение между высотой минарета и диаметром его основания хорошо характеризует его геометрические пропорции. Если к этому соотношению добавить еще высоту минарета, то мы получаем полную геометрию конусного минарета. Соотношение между высотой и диаметром основания минарета меняется в очень широких пределах, от двух до восьми. Последнее соотношение такое же, как в греческих стройных колоннах ионического ордера, а тут отдельно стоящие высочайшие сооружения.

На этом закончим наш разговор об объеме взвешивочных решений приземистых мечетей, кубовидных мавзолеев и устремленных в небо минаретах Средней Азии. Во всех этих казалось бы несовместимых по своей геометрии сооружениях зодчие древности умели добиваться устойчивости их против землетрясений. Они прекрасно понимали, что сейсмостойкость сооружения обеспечивается не только его размерами, геометрической гармонией между ними, симметрией компоновки, но и конструктивными решениями отдельных элементов, свойствами материалов, из которых оно выполнено, а также качеством строительных работ. Этим-то вопросам посвящена следующая глава.

СЕКРЕТЫ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ДРЕВНИХ СООРУЖЕНИЙ СРЕДНЕЙ АЗИИ

Думаем, что сейсмостойкость древних сооружений начиналась с хорошей организации строительных работ и тщательной проверки их качества. Попробуем представить как проводились эти работы. Вот вырыты котлованы под фундаменты будущего могучего сооружения.

Но прежде чем начать возводить эти фундаменты необходимо выполнить целый ритуал обязательных подготовительных работ. Прежде всего надо уплотнить грунты дна котлована, чтобы обеспечить минимальную осадку сооружения после возведения. В котлован сгоняют табун лошадей и начинают гонять их по кругу, чтобы они ударами копыт уплотняли грунты. Через какое-то время идет проверка качества полученного уплотнения. В котлован торжественно спускается мастер и с определенной высоты бросает специальный нож. Все внимательно следят за его магическими действиями. Если нож не воткнулся и упал, то уплотнение грунта достаточное. Если же нож остался торчать, то опять продолжает гонять лошадей добиваясь нужного уплотнения. Далее идет следующий этап устройства грунтового основания под фундамент сооружения, создается из гончарной глины подушка, обладающая пластическими свойствами (рис. 22). Здесь по сути дела рассказываем о типовом наборе антисейсмических мероприятий, которые применяли древние строители.

Далее, на подготовленном основании таким образом возводился фундамент из обожженного кирпича, как правило, на глиняном растворе. Подошве фундамента придавалось слегка закругленная форма (рис. 22). Во время землетрясения закругленный фундамент легче входил в пластичную массу и этим смягчался удар от сейсмической волны. Толщина слоев раствора была соизмерима с толщиной кирпича, она была порядка 3—4 см. Таким образом, фундамент имел слоистую структуру из жестких и пластичных слоев, которая оказывала гасящий эффект на сейсмические воздействия. Кстати, любопытно как отбирался кирпич, когда строилось какое-нибудь ответственное сооружение, типа мечети, мавзолея или минарета. Доставленный на стройку кирпич проверялся мастером лично. Каждый кирпич он вызванивал все тем же ножом, подобно тому как выстукивают при продаже в магазине хрустальные бокалы, чтобы убедиться, что в них нет трещин. Качественный кирпич при ударах ножа мастера должен без дребезжанья издавать чистый звук «ля». Только такой кирпич шел в дело. Это был примерно один кирпич из пяти (рис. 23).

После выкладки фундамента из обожженного кирпича на глине, в редких случаях это был камень, на уровне поверхности земли укладывался ряд кирпича на толстом

лессовом растворе, в которой входило до 80% песка. Выше этого ряда уже возводился цоколь сооружения. Вот этот слой тощего раствора под всем сооружением является следующим антисейсмическим мероприятием. Через тысячу лет назовут его скользящим поясом и будут делать из двух пластинок нержавеющей стали или пластмассы. Назначение скользящих поясов ограничивать сейсмические движения, передающиеся от грунта на сооружение. Физически понятно, чем меньше коэффициент трения по скользящему поясу, тем меньше горизонтальная сила, передающаяся от фундамента на здание. Чем сила трения меньше, тем лучше. Кстати, скользящие пояса из песка применяются в Китае и сейчас, а в Японии между пластинками делают смазку, что значительно снижает сейсмическую силу.

Кладка кирпичей цоколя проводится уже не на глинке, а ганчевом растворе. Об этом замечательном растворе необходимо рассказать подробно. Основными вяжущими растворами в Средней Азии были глина и ганч, хотя известковый раствор был также известен, но зодчие предпочитали ганч за его свойства прочности и пластичности. Изготавливался ганч из местного алебастра путем обжига, последующего помола и просеивания, чтобы отобрать частицы нужной крупности. Умелые мастера предпочитали работать с ганчем крупного помола, который схватывался не так быстро, как мелкий ганч, был более прочным, достигая наивысшей прочности только через год. Как раствор для кладки в чистом виде ганч почти никогда не применялся, обычно он смешивался с какими-то другими компонентами еще в сухом виде, с лессом, с песком, с древесным углем и еще неизвестно с чем. Все эти добавки позволяли придать раствору из ганча нужные строителю в данном месте свойства. Песок и кирпичная крошка были инертными добавками, а вот лесс замедлял процесс схватывания и повышал вяжущие свойства раствора. Зола добавлялась при изготовлении водостойких растворов. Глина и древесный уголь смешивались с ганчем для придания раствору повышенных пластических свойств. Зодчие древности вполне справедливо считали, что в одном и том же сооружении требуются растворы с различными качествами. Меняя состав добавок в ганч, древние строители умели придавать нужные свойства растворам.

В мавзолее XII в. султана Санджара в Старом Мерве нижние ряды кирпича уложены на ганче с золой и древесным углем, в средней части с кирпичной мукой, а верхняя часть — ганч с песком. Древние мастера постоянно находились в поиске, продолжая совершенствовать раствор, который казалось уже обладает самыми совершенными свойствами. В конце концов был получен «шереш порошок» (спец. клей) из высушенных и размолотых корней растений, небольшая щепотка которого на обычный замес ганча в 10—12 кг придавала ему водостойкость и значительно замедляла скорость твердения. Вот на этом прочном ганчевом растворе, обладающем повышенными по сравнению с известковым, упругоэластическими свойствами и возведено большинство сооружений Средней Азии (рис. 24).

Продолжим изучение методики кирпичной кладки древних сооружений (рис. 22). После того как закончена кладка цоколя на толстых слоях ганчевого раствора, его поверхность тщательно выравнивается слоем того же раствора. На эту ровную поверхность укладывается камышовый пояс. Камышовый пояс представляет собой уложенный ровным слоем толщиной 8—10 см камыш. Для точности и удобства укладки камыша его часто заранее формируют в кирпичики, состоящие из склеенных и тщательно пригнанных между собой камышинок. Укладывался камыш перпендикулярно плоскости стены, очень плотно так, чтобы вышележащая стена не раздавила его. Иногда таких поясов устраивалось два, иногда их вообще не делали. Назначение их такое же как и скользящих поясов и упругих прокладок, уменьшать движение передаваемое во время землетрясения от фундамента на сооружение. По сути дела с помощью камышовых поясов организуется податливая связь между фундаментом и верхней частью сооружения. За счет этой податливой связи не все движения нижней части конструкции передаются вверх. Современным конструктивным аналогом камышовым поясам могут служить опять все те же резинометаллические сейсмоизоляторы.

Над камышовым поясом уже возводились стены, которые сами обладали антисейсмическими свойствами. Иногда в качестве раствора стен использовалась глина, но чаще это все-таки был ганч. В кладке стен были тоже свои премудрости. В нижней части стены толщина раствора равнялась толщине кирпича (порядка 5 см),

выше толщина раствора постепенно уменьшилась и достигла в верхней третьей части стены 10—12 мм, буквально как в современной кладке. Получалось, что объем гача в общем объеме стены доходил до 30%. Это обеспечивало стене из кирпича упруго-пластические свойства, при чем нижняя часть стены имела повышенные эластические свойства, что и требуется по условиям сейсмостойкости. На гаче же обязательно выкладывались такие ответственные элементы конструкции как сопряжения стен с куполом и сам купол. Таким замечательным набором антисейсмических строительных приемов пользовались зодчие Средней Азии для обеспечения сейсмостойкости своих сооружений. Но разумеется сказанным не исчерпывается все творческое разнообразие конструктивных приемов, что применяли зодчие древности для повышения сейсмостойкости строительных объектов. Так что продолжим наш разговор поэтому поводу.

Если Вы попадаете в Среднюю Азию, постарайтесь посетить древние памятники. После того как Вы наблюдаясь и любовались бирюзовыми куполами и причудливыми узорами арабской письменности, остановитесь и внимательно взгляните в узор обычной кирпичной кладки. Вы увидите перед собой восьмое чудо света. На рис. 25 дано несколько образцов применявшейся кладки. С одной стороны это самый настоящий орнамент, придающий архитектурную выразительность поверхности стены, с другой стороны такая кладка обеспечивает однородные свойства и монолитность в условиях сейсмики. А посмотрите как равномерно и плавно сопрягаются стены с арками и куполами без резких изломов и выступов, что обеспечивает отсутствие концентрации напряжений. При этом часто все замысловатое сооружение делается чудесным образом из кирпича одного размера. Мечеть XI века сложной конфигурации Талхатан-баба недалеко от города Мары построена вся из кирпича одного размера 25x25x5 см. На рис. 26 показан так называемый свод «балхи». Такой свод, весь состоящий из криволинейных фигур, плавно переходящих одна в другую, мог выполнить из кирпича только виртуоз своего дела. Это мастерство также способствовало повышенной сейсмостойкости древних сооружений.

Встречаются случаи армирования кирпичной кладки деревом. В этом случае используются довольно толстые

до 10—15 см диаметром сухие стволы арчи. Особенно основательно армировались деревом места перехода от купола к стенам. Мы не думаем, что древний строитель был так наивен, что создавал из дерева обвязку нижней части купола. Наверяд ли он организовывал также упругую связь между куполом и сооружением. Но какая-то идея, пусть даже ошибочная с нашей точки зрения, у древнего строителя здесь была.

Хочется отметить, что при всей традиционности строительного искусства древнего мира, проходил постоянный творческий поиск новых конструктивных решений. Лучшие из них отбирались и переходили в разряд традиционных. Приведем Вам пример необычного, даже для нашего времени, фундамента знаменитого мавзолея Султана Санджара в Старом Мерве, относящегося к XI веку. Фундамент этого мавзолея не расширяется книзу как обычно, а наоборот ступенчато сужается (рис. 27). Традиционная форма фундамента показана на рисунке пунктиром. Весь ступенчатый фундамент помещен в массив из пластичной глины, которая со временем уплотнилась, но не потеряла своих качеств. Тут опять возникает мысль, о чем думал зодчий, создавая такой фундамент, в котором все наоборот. Вдруг этот древний мыслитель прекрасно представлял себе волновую картину движения сейсмических волн и создал фундамент — волнорез, назначение которого рассекать в разные стороны сейсмические волны, уменьшая этим энергию землетрясения, передаваемую от грунта на сооружение.

Еще раз повторяем, что древние строители не делали такие ошибки как мы и никогда не ставили свои сооружения прямо на скальный грунт.

Уже ранние монументальные сооружения Хорезма, построенные в III—VII веках, стояли на искусственно подготовленных песчаных подушках. Эти подушки образовывались в результате засыпки и выравнивания песком неоднородностей скального основания. Мавзолей, построенный на крутом склоне горы Тахт-и-Сулейман около города Ош, поставлен в выбитый в склоне горы котлован с горизонтальным дном. Перед установкой фундаментов мавзолея, котлован был засыпан песком. Также конструктивно решен мавзолей Чулпан-Ата под Самаркандом. В скалистом грунте выбит котлован и заполнен лессовым суглинком. На эту подушку уже поставлен

мавзолее. Как видите сейсмостойкость сооружения начинается с подготовки грунтового основания.

Еще одна важная для обеспечения сейсмостойкости сооружения задача. Как осуществить плавное сопряжение круглого основания купола с прямоугольником стен. Здесь в Средней Азии эта задача решалась пожалуй более логично, Типовой подход был такой. На квадрат с помощью перекрытия углов арочными tromпами ставился восьмигранник, а его уже легко было сопрячь с куполом. На рис. 28 показано такое сопряжение на примере одного из мавзолеев XI в. Кроме плавного перехода одной геометрической фигуры в другую, Вы видите как облегчены стены нишами перекрытыми стрельчатыми арками. В простенках между арками заложены ребра жесткости в виде колонн, утопленных в стену. Выше расположена новая пространственная каркасная система из ребер жесткости между арками, образующими восьмигранник. Далее идет сам купол, который постоянно на протяжении веков совершенствовался, облегчался и упрочнялся. К тому же выложенный на ганче купол обладал и свойствами пластичности.

Обратите внимание как широко использовались в древнем мире различные сложного очертания криволинейные конструкции: арки, своды, купола. Как виртуозно из кирпича, камня или монолита строители создавали эти плавно переходящие друг в друга сложные архитектурные формы. Все эти конструкции, хорошо построенные, показали свою долговечность, надежность и в то же время служили украшением древним городам, радуя взгляд их жителей. Теперь обратите внимание как редко подобные конструкции используются в наше время. Наши сооружения такие же гладкие, однообразные и плоские как наши мысли (5—8). Теперь поговорим о дереве как строительном материале хорошо отвечающем требованиям сейсмостойкости.

СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ КОНСТРУКЦИИ ИЗ ДЕРЕВА

Самым древним строительным материалом, по-видимому, является дерево. В древности оно было везде, его легко было добыть, из него удобно было строить. С точки зрения сейсмостойкости дерево с его малым удельным весом, прочностью и упругостью было самым идеальным

материалом. Правда в наше время у дерева появились соперники. Это разного рода пластмассы, еще более легкие и прочные, способные принимать любую форму, а также пневматические конструкции, основу которых составляет обыкновенный воздух. Итак, кое-что о древних конструкциях из дерева.

Самыми древнейшими постройками были, по-видимому, те которые выполнялись из переплетенных между собой прутьев и палок обмазанных глиной. Такие конструкции разуместя имели хорошую сейсмостойкость. В результате постепенного совершенствования этого типа жилищ позднее стали строить во многих странах здания, которые теперь называют саманными. Они состоят из деревянного каркаса с заполнением из сырцового кирпича, в который при замешивании глины добавляют солому или шерсть животных. Здесь, в Средней Азии, эти традиционные постройки из сырца имеют название — синч. В конструкции этой многое регламентировано и главным образом с точки зрения сейсмостойкости. Здесь хочется обратить Ваше внимание только на один важный конструктивный прием. В конструкции синч односкатная плоская кровля никогда не связывается жестко со стенами. Несущие перекрытие бревна, да и само перекрытие могут двигаться относительно стен, снижая этим нагрузку во время землетрясения на стены. Перекрытие может даже соскочить со стен, но тогда оно должно занять такое положение, что это будет безопасно для жизни людей. Эти более современные сооружения обладают почти такой же сейсмостойкостью как и древнейшие шалаши. Вообще древние строители считали полезным армировать деревом не только здания из сырцового кирпича, но и тяжелую кирпичную и каменную кладку.

Вы может быть обратили внимание, что описывая архитектурные памятники Средней Азии, мы только один раз упомянули каменные колонны неудачно примененные в гигантской соборной мечети Биби-Ханым. Известны и другие попытки применения каменных колонн, но до нас эти сооружения не дошли. Во всяком случае зодчие Средней Азии прониклись к ним большим недоверием. Понять их можно. Дело в том, что, учитывая сейсмическую опасность района, зодчие не могли обеспечить каменным колоннам пужную гибкость и эластичность, как это требовалось согласно их принципам. Толстые же кирпичные столбы (рис. 29), как промежуточные опоры,

применялись, так как известным способом с помощью ганчезового раствора им можно было придать свойства упругости и пластичности. Особенно широко такие столбы применялись на ранних объектах в XI в. Позднее и от них отказались. Зато в Средней Азии применялась, применяется и вероятно будет применяться традиционная легкая деревянная колонна, обладающая с точки зрения сейсмостойкости самыми совершенными конструктивными качествами (рис. 30 а, б). Устроена она, как Вы видите из рисунка, следующим образом. Прежде всего у нее имеется красивая резная расширяющаяся книзу каменная база. В этом опорном для колонны элементе имеется отверстие, куда вставляется нижний шип легкой деревянной колонны, постепенно сужающейся вверх. Верхняя часть колонны также снабжена шипом, вставляемым в подбалку. Подбалка сама на концах снабжена шипами, на которые одеваются балки перекрытия. Этими шипами обеспечена надежная шарнирная связь между элементами. Смотрите, что получилось. Колонна с обеих концов имеет шарнирные соединения, следовательно она будет работать только на сжатие без изгиба и ее материал будет загружен равномерно. Далее, применение подбалки не только обеспечивает надежную опору для балки, но и значительно снижает в ней максимальный изгибающий момент за счет уменьшения ее длины. Но самое здесь интересное, что конструкция этой балки является самоуравновешивающейся системой. Подбалка, выведенная из состояния равновесия, стремится вернуться в исходное положение (рис. 30 а, б) за счет изменения длины плеч. То плечо подбалки, которое поднялось выше за счет изменения точки опирания балки, удлиняется и увеличившийся крутящий момент возвращает подбалку в исходное положение. Эта же идея используется в китайском деревянном зодчестве при строительстве храмов и пагод. Там деревянные балки и столбы соединяются с помощью так называемых доугунов. Доугуны представляют собой пространственные, также самоуравновешивающиеся конструкции (рис. 31), собранные из большого количества подбалок различного размера. Эти конструкции обеспечивают гибкую, податливую связь между основанием сооружения и перекрытием, защищая этим его от сейсмического воздействия.

Используются замечательные многшарнирные среднеазиатские колонны для поддержания легких деревян-

ных перекрытий над широко распространенными традиционными открытыми террасами, айванами. Террасы устраивались в жилых домах, дворцах, мечетях. Знаменитая Джума—мечеть в Хиве основанная в X в., имеет плоское деревянно перекрытие, поддерживаемое 212 деревянными такими колоннами с размером в плане 55x46 м и высотой до 5 м (рис. 32). В эту мечеть вмещалось все мужское население города при пятничных богослужениях. Интересно, что за время существования мечети большая часть деревянных колонн была заменена, но четыре отличающиеся резьбой особой красоты и относящиеся к X веку все-таки сохранилась. Как видите Джума—мечеть своим тысячелетним существованием в сейсмоактивном районе подтвердила свою сейсмостойкость. Ее конструктивная схема чрезвычайно проста. Замкнутый контур стен, на которые передаются горизонтальные нагрузки, в том числе и сейсмические, и легкое деревянное перекрытие, заполняющее все внутреннее пространство между стенами, поддерживаемое многошарнирными колоннами.

Теперь давайте перенесемся на несколько столетий вперед в то время, когда в Среднюю Азию пришли русские, большие специалисты в области строительства из дерева. Начнем с самого простого и с самого распространенного элемента — деревянного зодчества России, с русской избы (рис. 33). С освоением русскими Сибири и Дальнего Востока, русская изба появилась в Забайкалье, на Алтае, в Казахстане, в районах повышенной сейсмической активности, где показала себя с самой хорошей стороны в смысле сейсмостойкости, хотя изначально ее конструкцию никто к этому не приспособлявал, как, например, японскую или китайскую пагоды.

Конструкция русской избы проста, но надежна. Основу ее составляет так называемый сруб, который собирается из горизонтально расположенных тщательно пригнанных друг к другу бревен. При этом в нижней части каждого бревна имеется вырубленный паз, а в верхней части ребро. При установке бревен в сруб обязательно обеспечивается, чтобы ребро по всей длине точно входило в паз. Больше того, на концах каждого бревна там, где примыкают поперечные стены, вырубается еще поперечные пазы. В результате при установке каждого бревна в сруб оно сцепляется с нижним и верхним бревнами и с бревнами поперечных стен, образуется единая

неразъемная система, из которой нельзя выбить ни одно бревно, не сломав всей стены. Такой сруб обладает прекрасными свойствами с точки зрения сейсмостойкости. Он может легко деформироваться в любом направлении за счет сдвигов одного бревна относительно другого по пазам. Такая система обладает свойствами пластичности и хорошего затухания, материал ее легок, прочен и упруг. Как правило, конструкция симметрична. То что рубленные русские избы обладают высокой сейсмостойкостью подтвердили многие землетрясения. При Иркутском землетрясении 7 ноября 1958 г. интенсивностью 8—9 баллов рубленные дома пострадали меньше всех, только в отдельных домах появились щели в углах. При Верненском землетрясении 1910 г. интенсивность которого была больше 9 баллов рубленные дома с хорошим каменным фундаментом под всем домом не пострадали вообще.

Конструктивные приемы деревянного зодчества,шедшие воплощение в русской избе, использовались и при более монументальном строительстве. При возведении крепостей, дворцов и церквей.

Нам разумеется не удалось рассказать о всем многообразии кирпичных и деревянных сооружений Средней Азии. Да мы к этому и не стремимся. Нам больше хотелось подчеркнуть высокий технический уровень древних мастеров, их глубокое понимание проблем сейсмостойкого строительства.

СЕЙСМОСТОЙКОСТЬ ДРЕВНИХ АРМЯНСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Для того, чтобы лучше можно было представить строительную технику того достаточно древнего исторического периода Армении, предлагаем в качестве примера рассмотреть удивительнейшее сооружение I века, а именно храм Гарни. Пока обнаружен на Кавказе единственный такой храм, хотя можно предположить, что в те времена таких храмов тогда было построено много. Но после принятия христианства в Армении в самом начале IV века как государственной религии, происходит массовое разрушение языческих культовых сооружений. На это место ставятся кресты, потом навесы над этими крестами, а позднее здесь возникают христианские



Рис. 1. В такой пирамиде воплощены все принципы сейсмостойкого строительства.

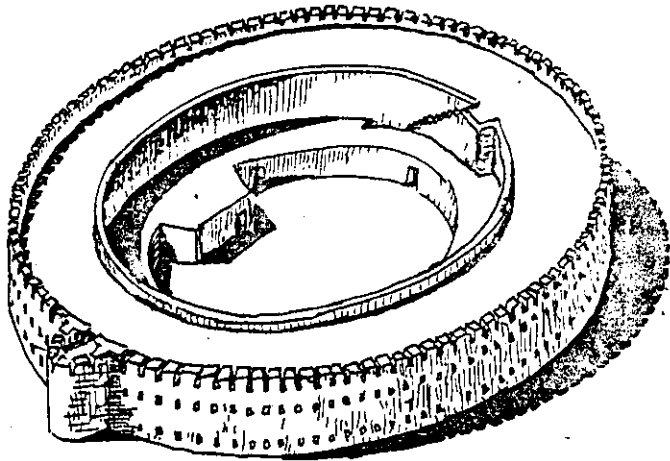


Рис. 2. Кольцеобразный храм-крепость Кутлуг-Тепе, V в. до н. э.

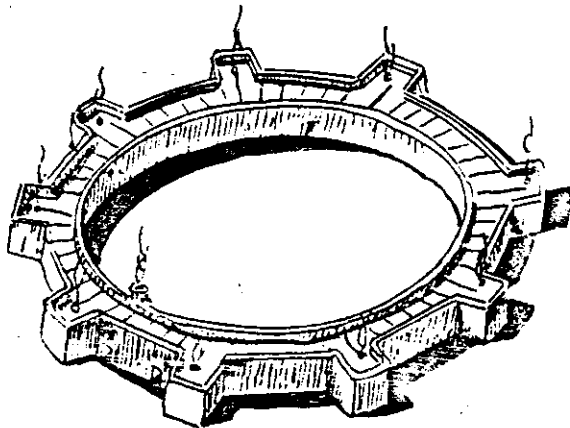


Рис. 3. Еще более древний храм Дашлы-3, XVII в. до н. э.

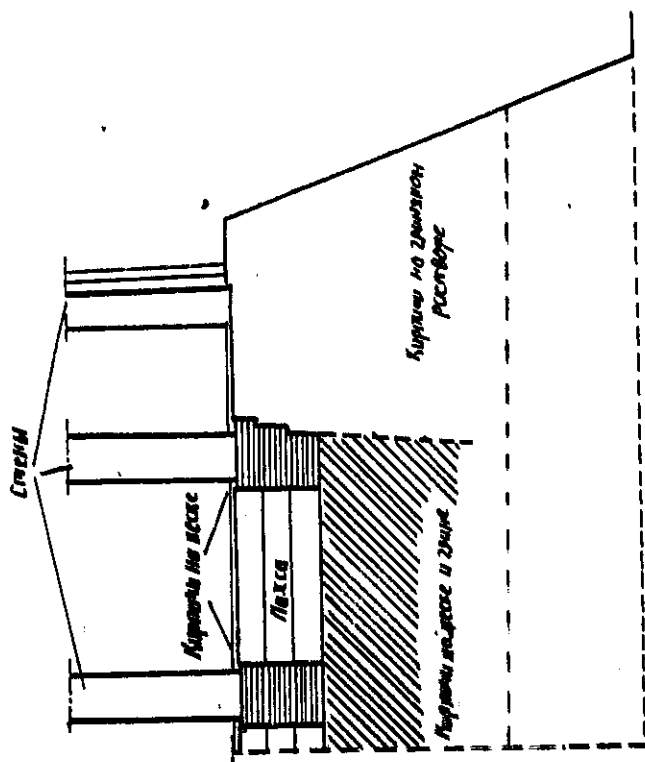


Рис. 4. Разрез платформы Высокого двора в Топ-ракале.

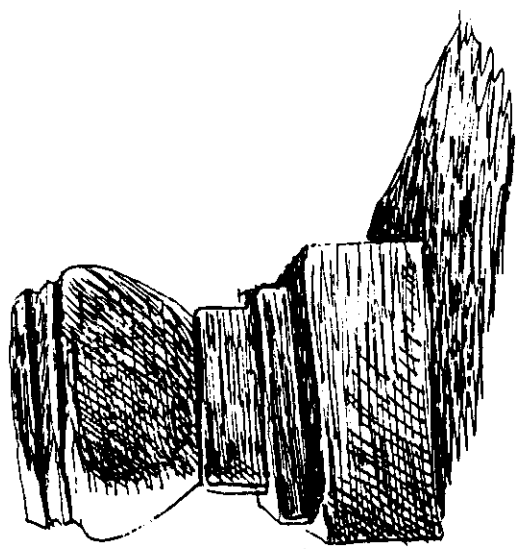


Рис. 5. Каменная база деревянной колонны.

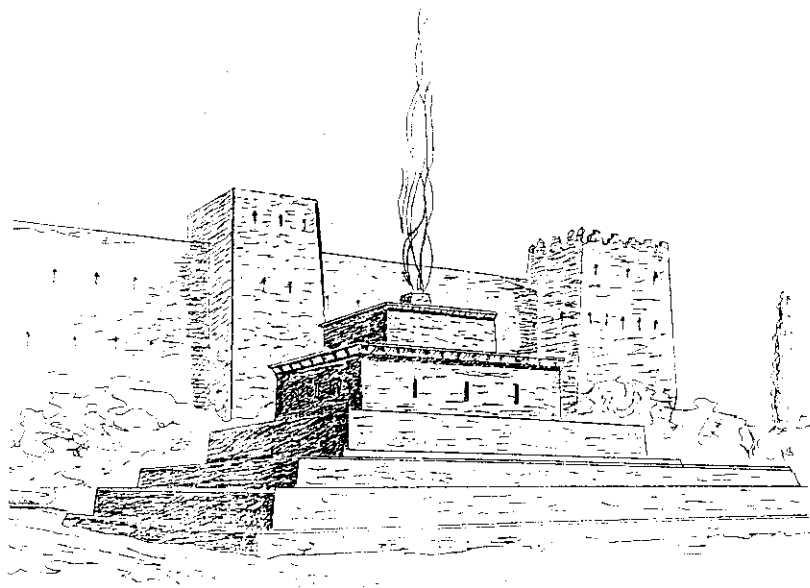


Рис. 6. Пирамидообразный храм огнепоклонников.

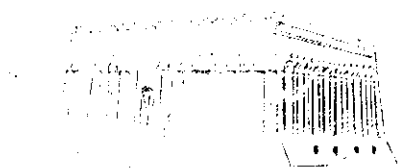


Рис. 7. Кешки — глиняные замки среднеазиатских феодалов

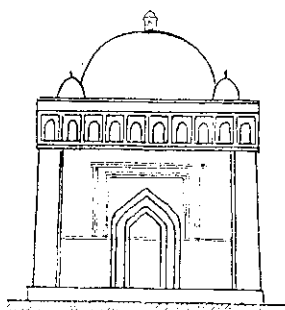


Рис. 8. Куб мавзоля Саманидов идеально отвечает требованиям сейсмостойкости.

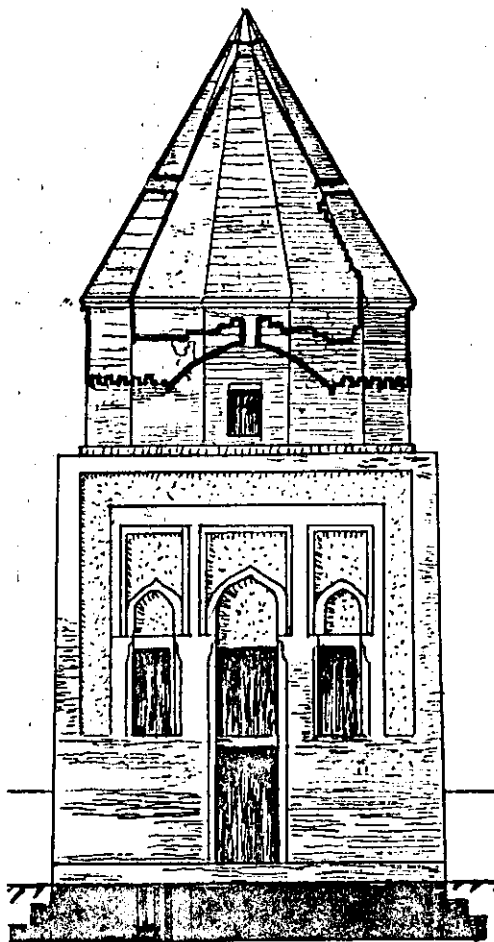


Рис. 9. Беспортальный мавзолей в
Куя-Ургенче.

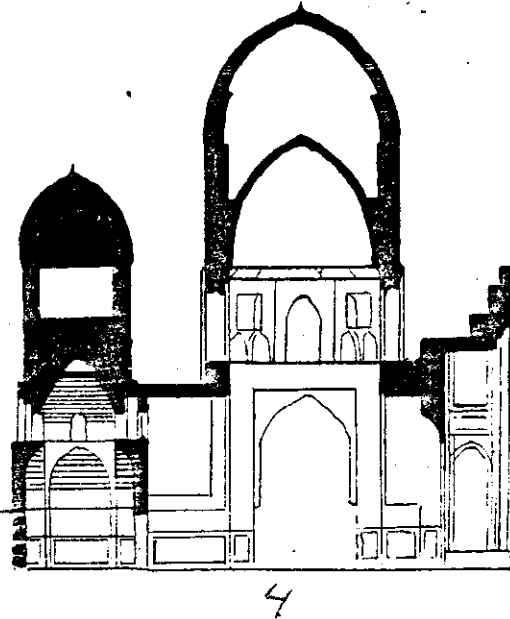
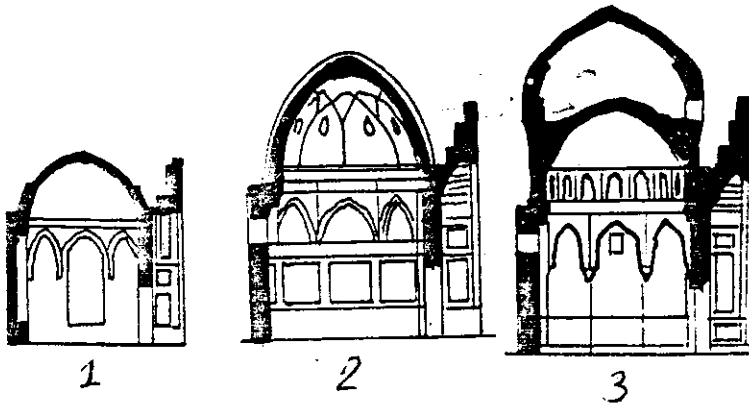


Рис. 10. Эволюция купольных мавзолеев Средней Азии

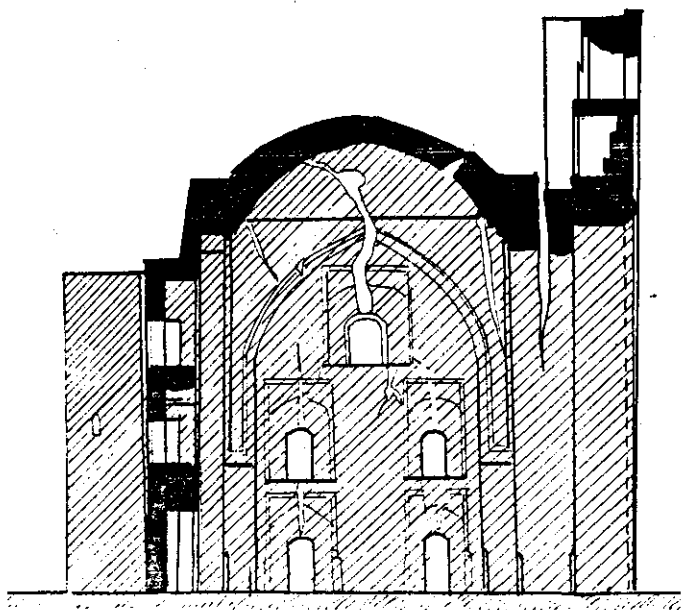


Рис. 11. Предпоследняя стадия разрушения мечети в Анау

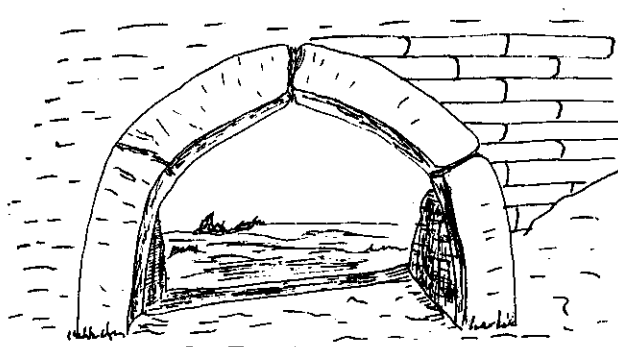


Рис. 12. Стреловидная арка не обрушилась и после образования в ней пластических шарниров

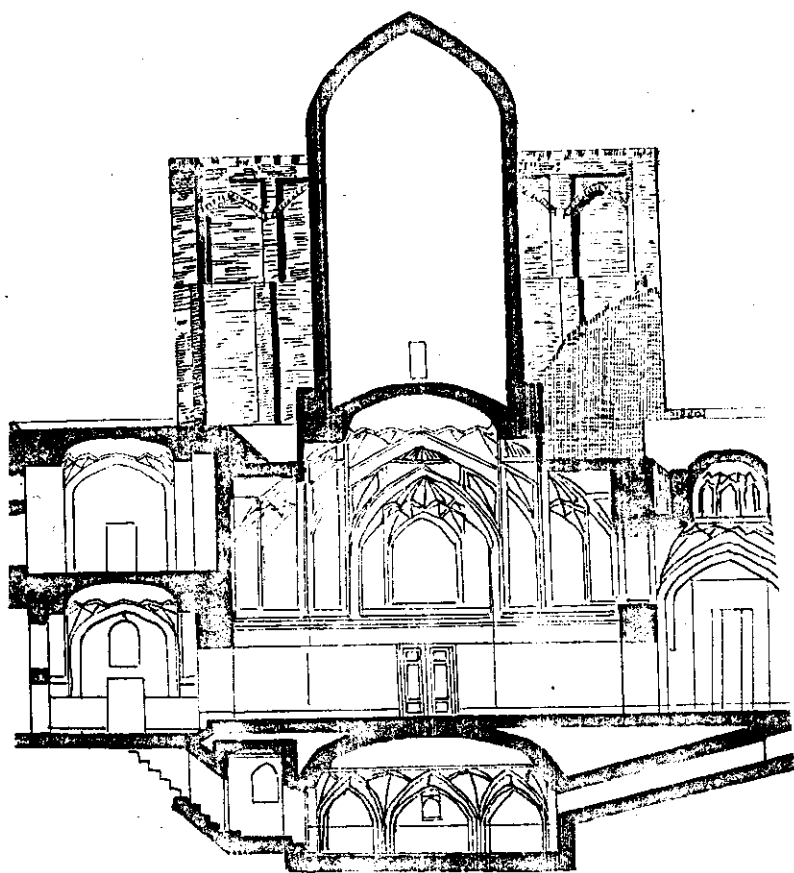


Рис. 13. Тонкостенный купол и
система подпружных арок мавзо-
лея XV века

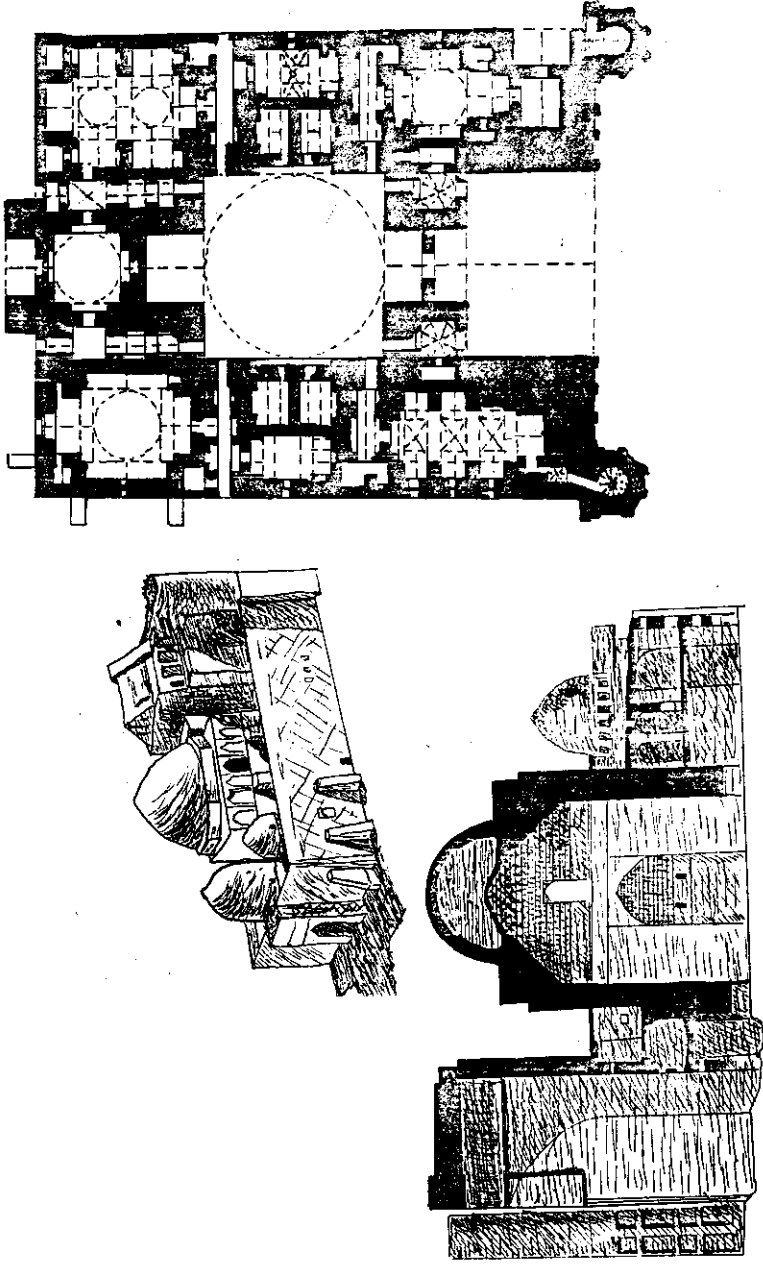


Рис. 14. Общий вид, план и разрез мавзолея Ахмеда Ясави

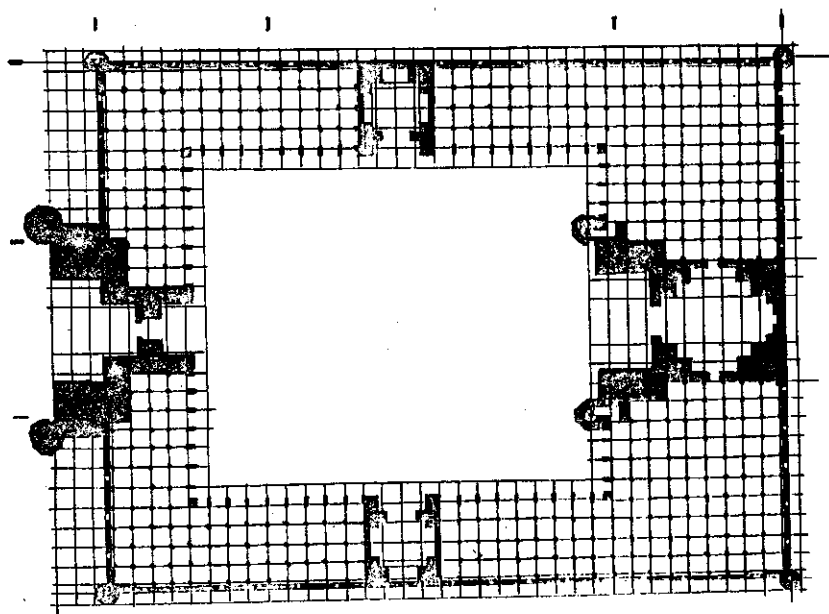


Рис. 15. План гигантской многоколонной мечети Биби-Ханым

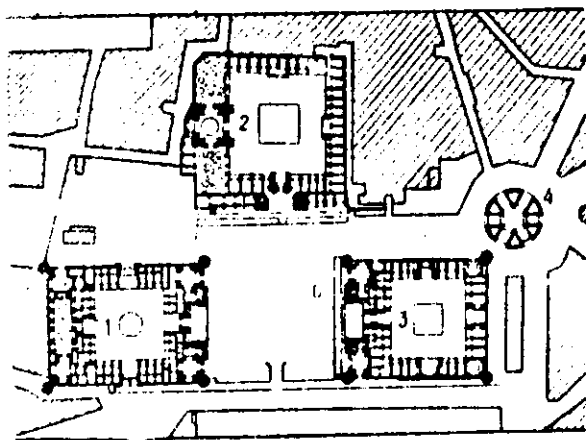


Рис. 16. План комплекса Регистан

1. Медресе Улугбека
2. Медресе Тилля-Кари
3. Медресе Шердор
4. Торговый купол Чорсу



Рис. 17. Характер повреждения кирпичного здания соответствующей 3 степени. (в зоне 9-балльной сейсмичности.). Влияние просадки грунтов, а — трещины на фасаде, б — трещины внутри здания.

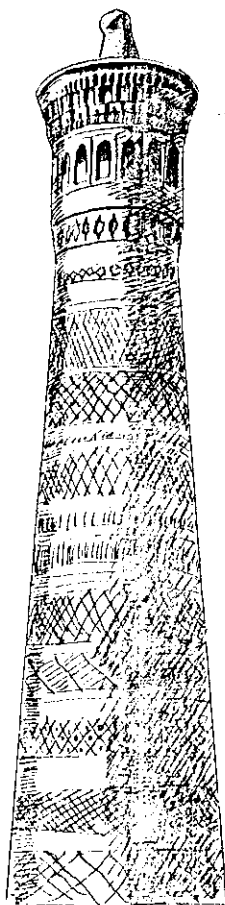


Рис. 18. Методом естественного отбора была выбрана геометрия минарета Каян



Рис. 19. Интенсивность сейсмического воздействия с глубиной уменьшается, поэтому при глубоко заложенных фундаментах эффект воздействия тоже уменьшается

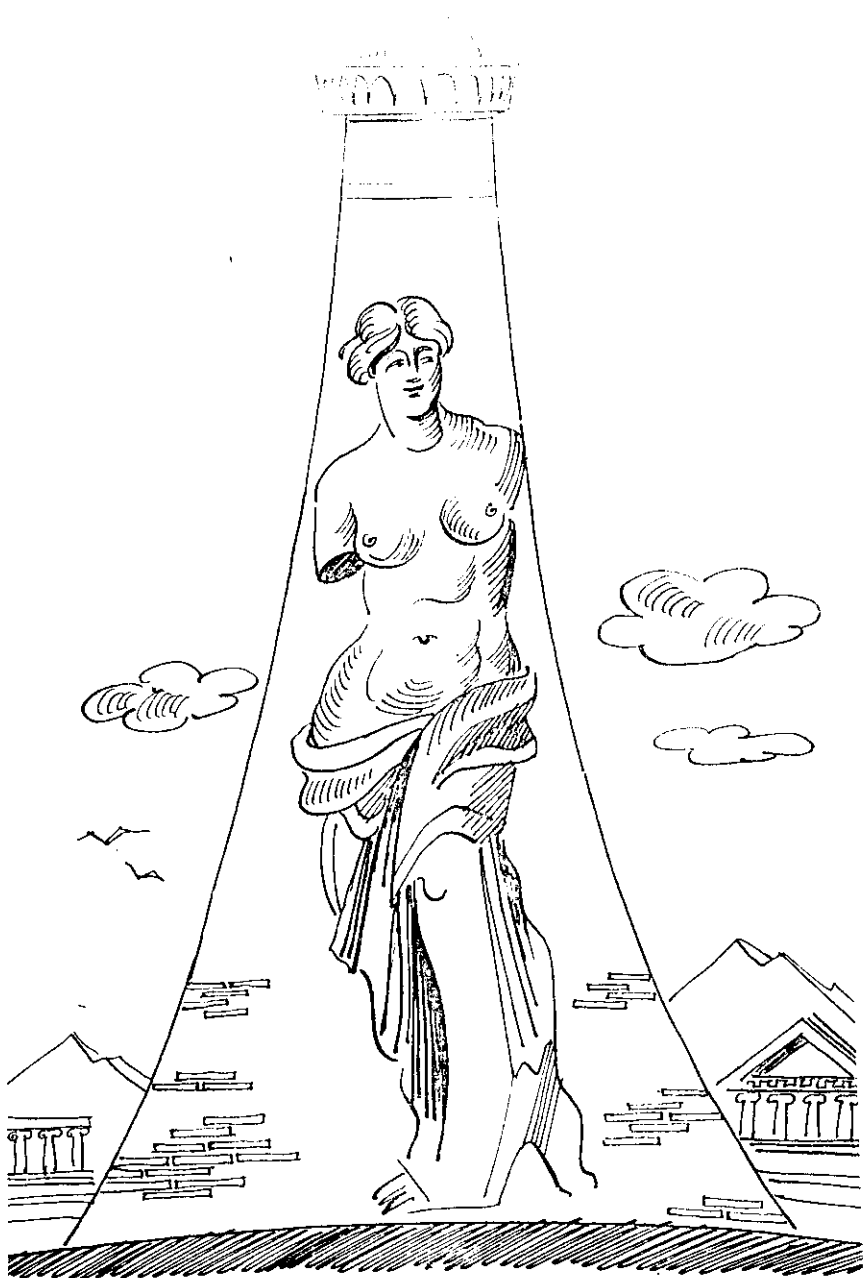


Рис. 20. Геометрическая гармония минаретов из кирпича

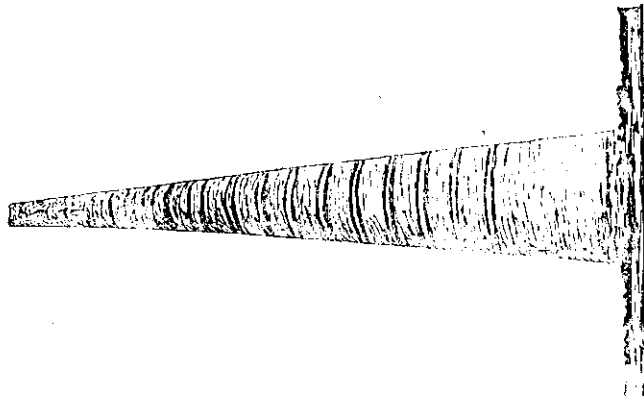


Рис. 21. Сложная конусность удивительно стройного минарета XI века

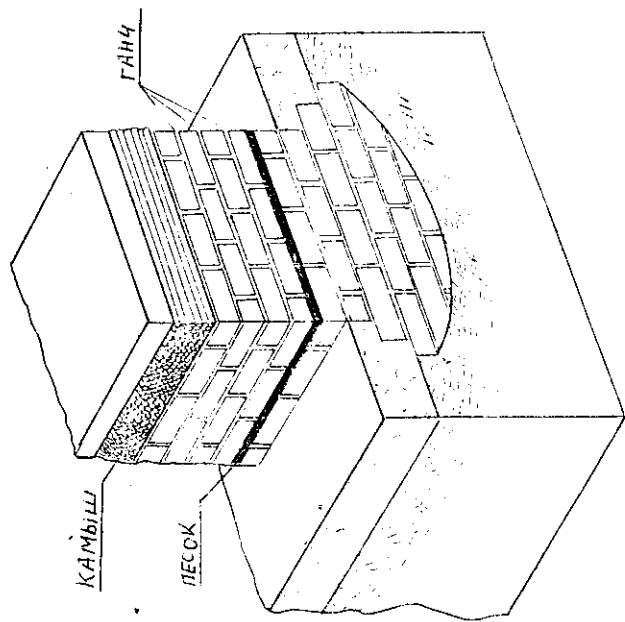


Рис. 22. Конструкция сейсмоизоляции фундаментов и стен монументальных сооружений Средней Азии



Рис. 23. Отбор высококачественного кирпича

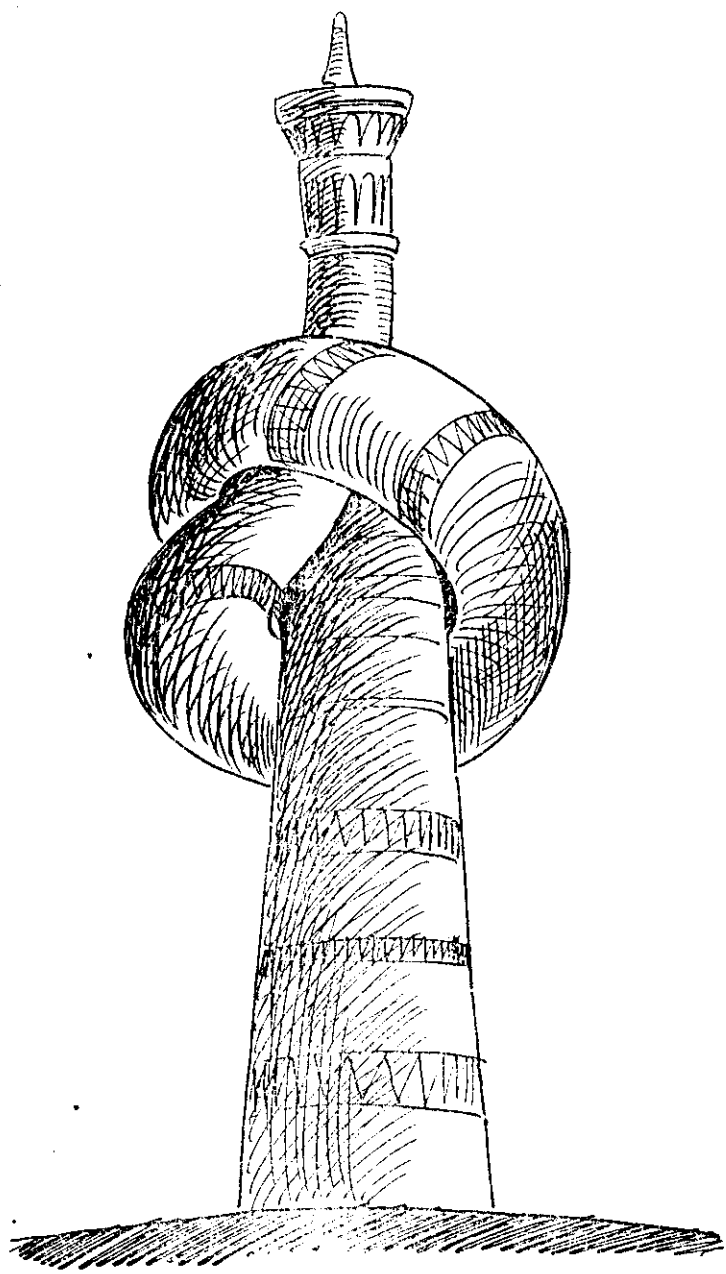


Рис. 24. Сооружения Средней Азии за счет ганчевых растворов обладали повышенными пластическими свойствами



Рис. 25. Образцы узоров
обычной кирпичной кладки

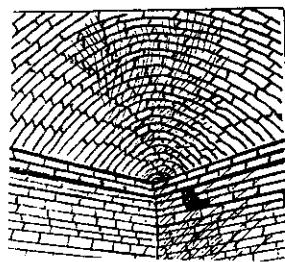


Рис. 26. Virtuозно выложен-
ный из прямоугольного кир-
пича свод «балхи»

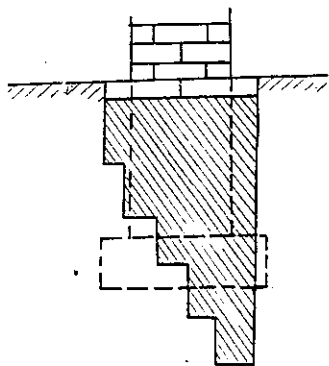


Рис. 27. Нестан-
дартный ступенча-
тый фундамент
мавзолея Султана
Санджара XI в.

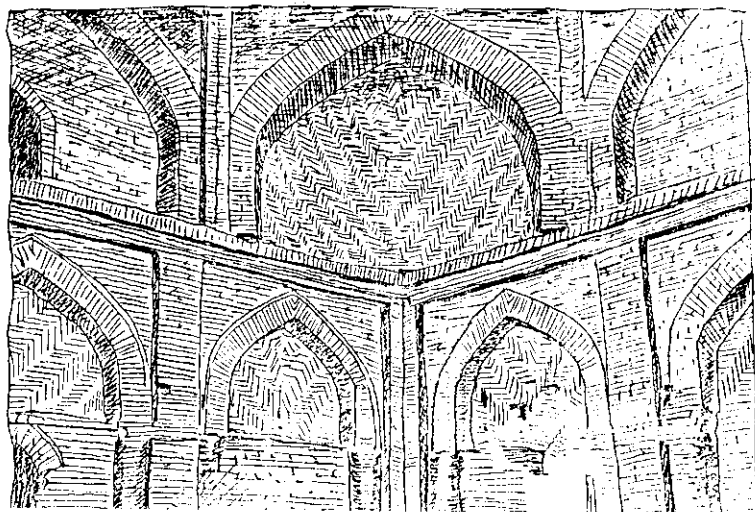


Рис. 28. Плавное сопряжение прямоугольника стен и
круга купола

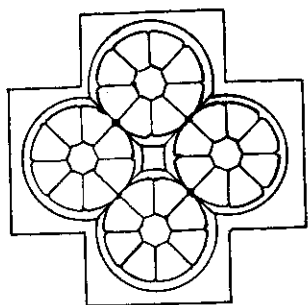


Рис. 29. Составные столбы из кирпича

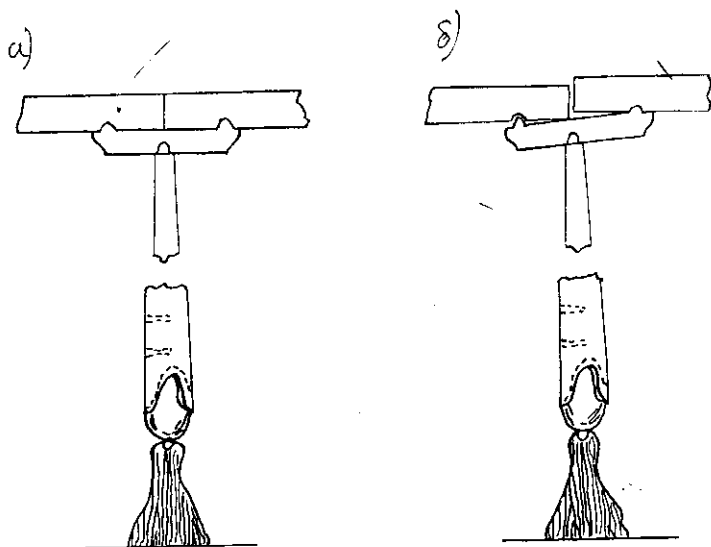


Рис. 30. Многошарнирная деревянная колонна на каменной базе а) в положении устойчивого равновесия, б) выведенная из положения равновесия.

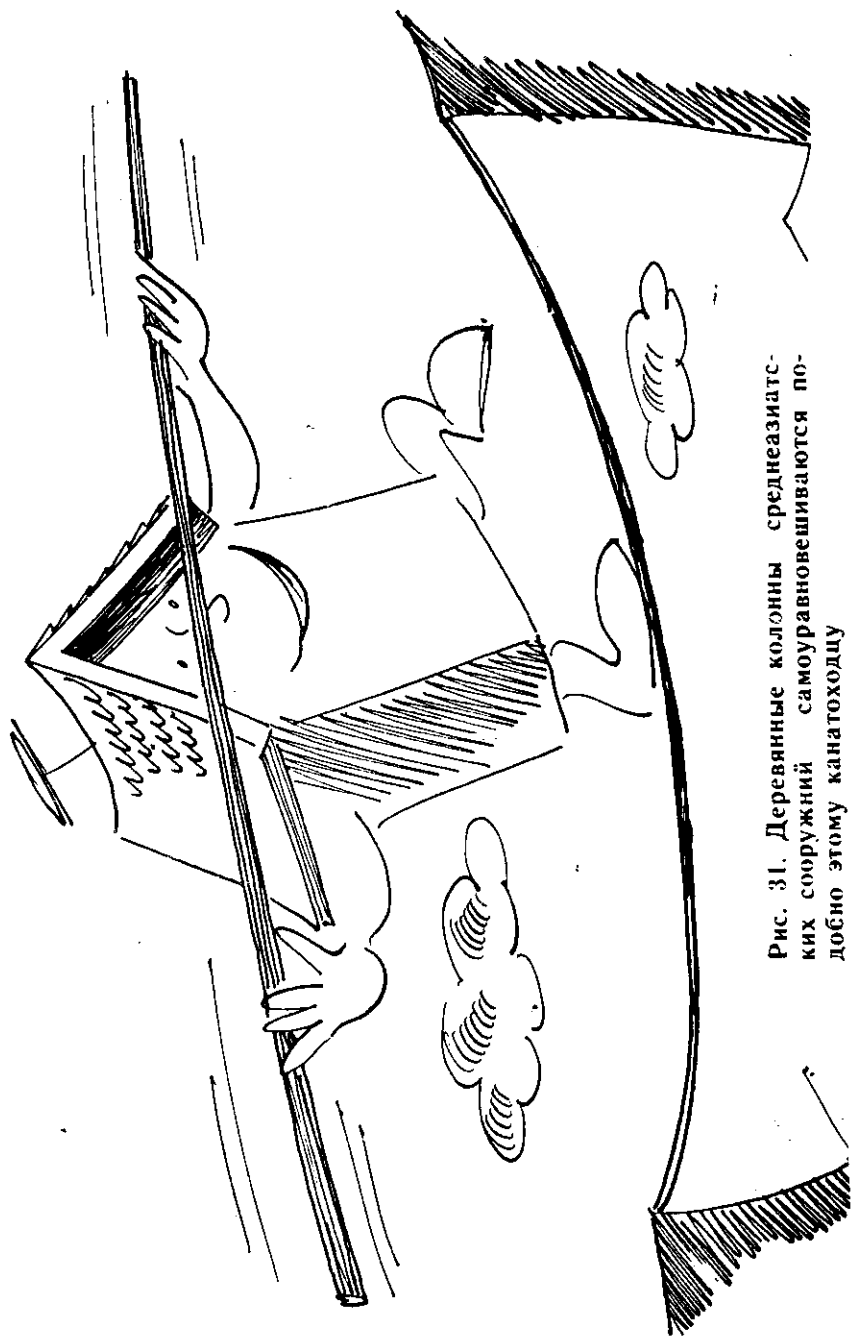


Рис. 31. Деревянные колонны среднеазиатских сооружений самоуравновешиваются по-добно этому канатоходцу

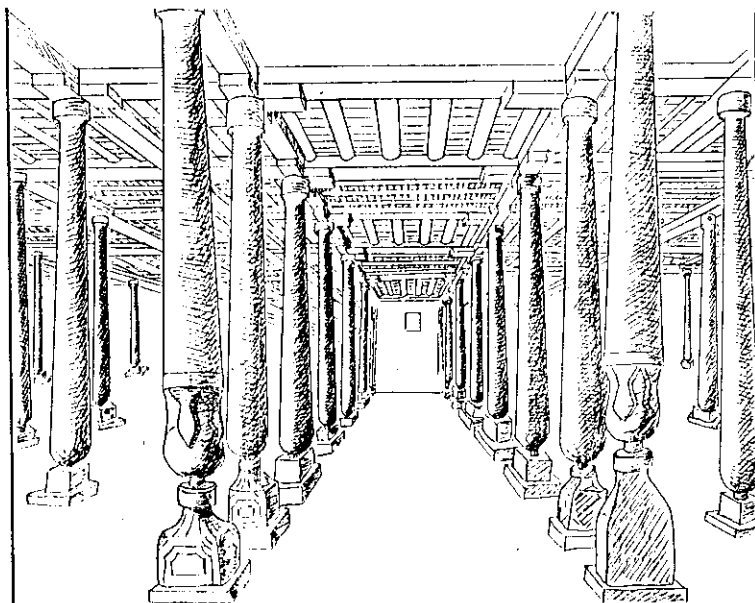


Рис. 32. Многоколонная Джума-мечеть
в Хиве

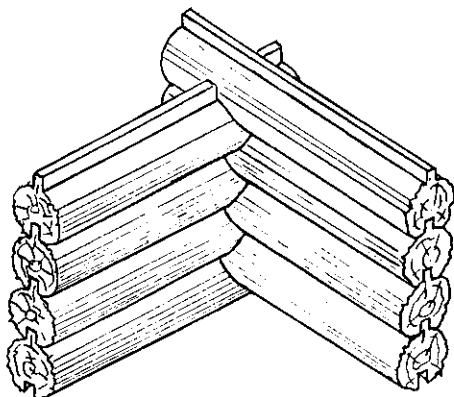


Рис. 33. Сруб русской избы

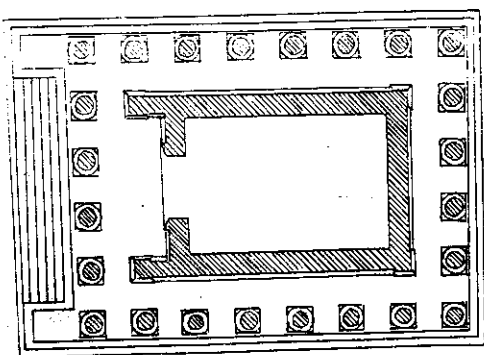
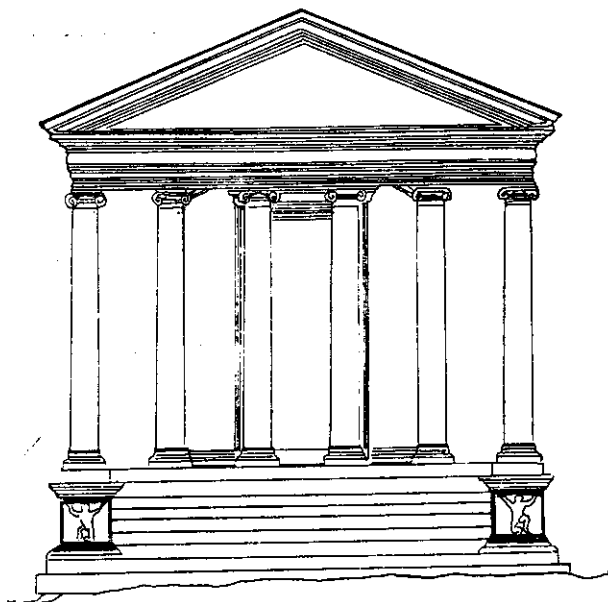


Рис. 34. Фасад и план храма
Гарни в Армении

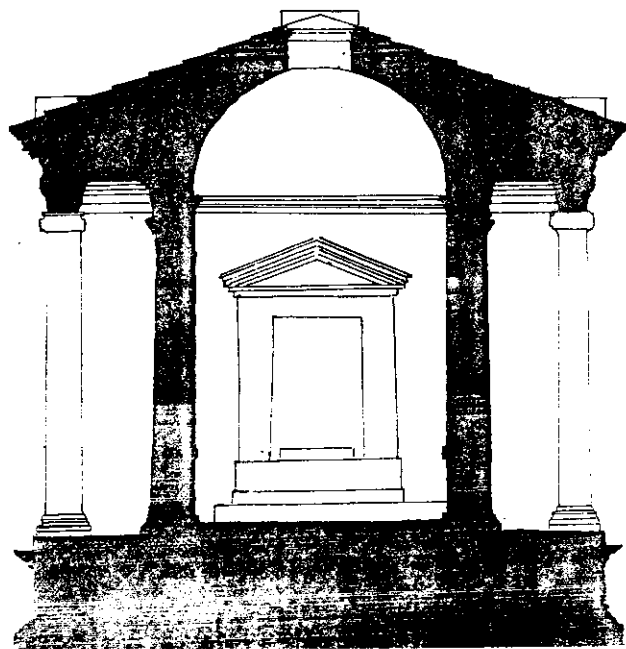


Рис. 35. Поперечный разрез храма Гарни

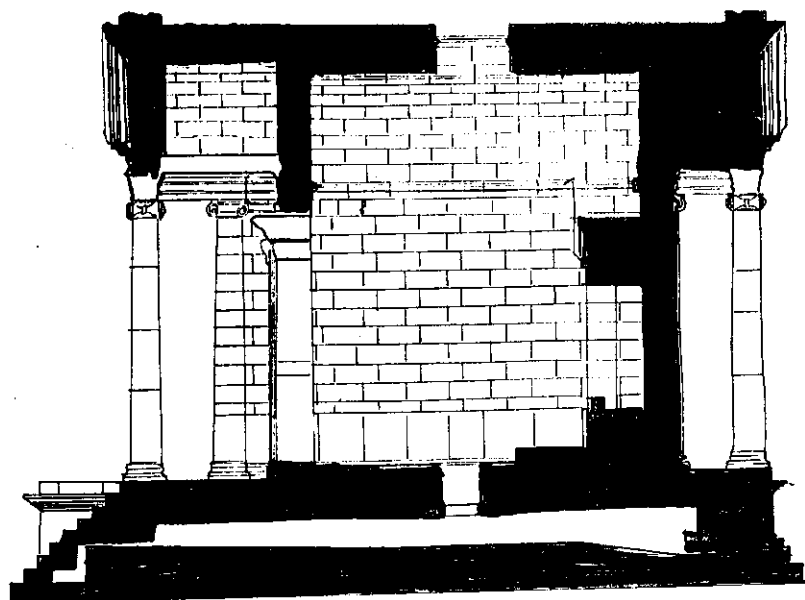


Рис. 36. Продольный разрез храма Гарни

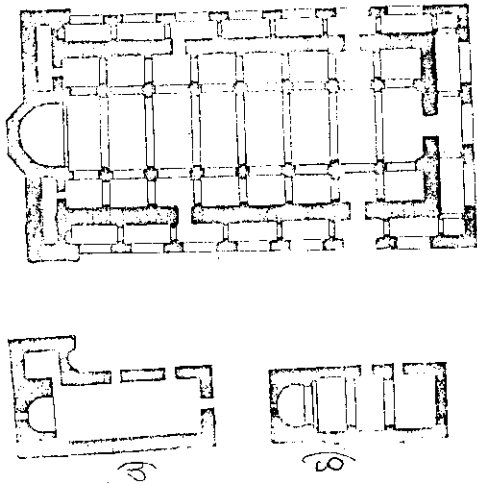


Рис. 37. а, б. План одностефных церквей. а) простейшая в Диракларе, б) с подружными арками в Агараке.

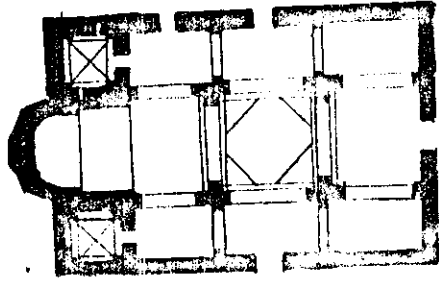


Рис. 39. Купольная базилика в Мрене

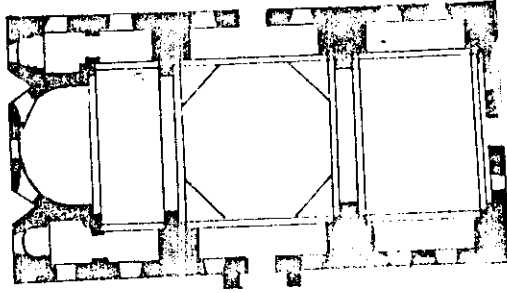


Рис. 40. Купольная зала в Птгни

Рис. 38. План трехнефной базилики в Двине.

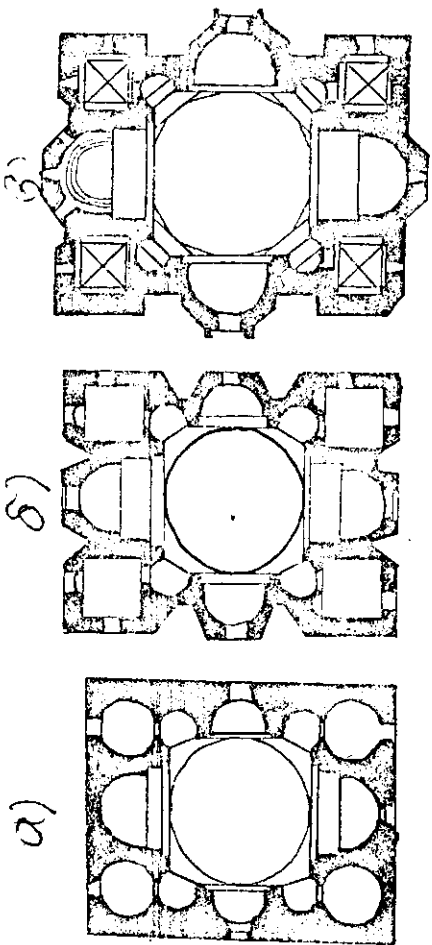


Рис. 41. Центральнo-купольные церкви: а) в Аване, б) в Вагаршанате в) Джавари в Грузии

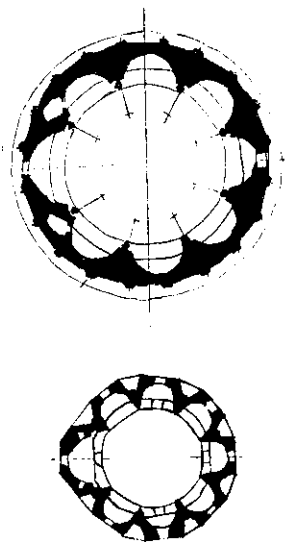


Рис. 42. Абсолютный центрзм церкви Спасителя в Ани и Зораван в Егварде

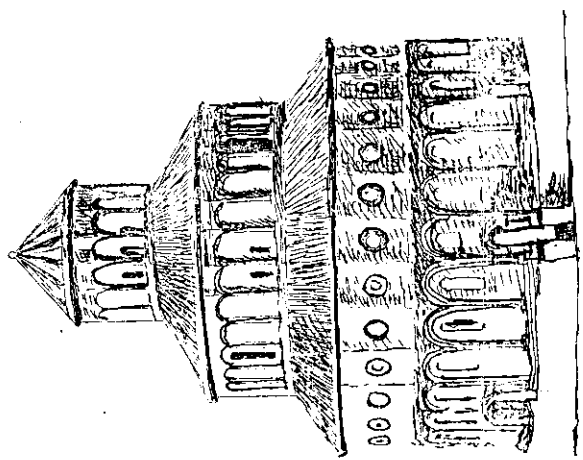
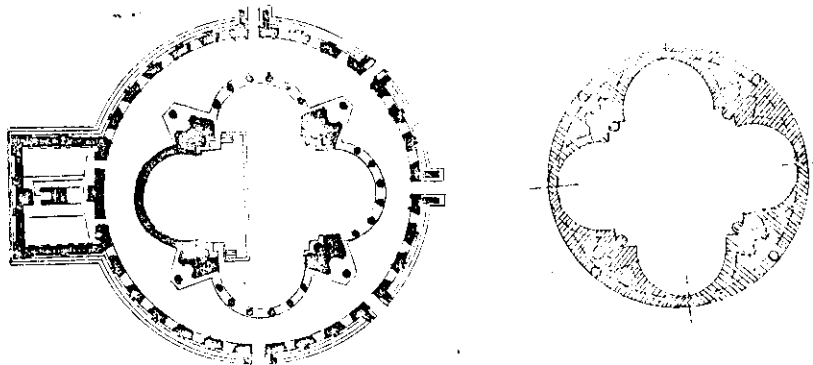


Рис. 43. Общий вид, план нижнего яруса и второе кольцо храма Звартноц

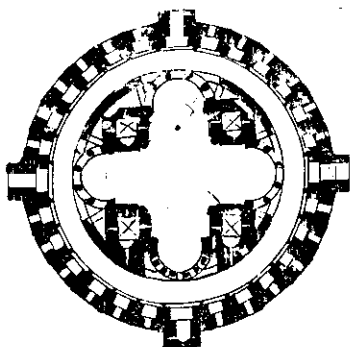


Рис. 44. План центрального собора в Бана

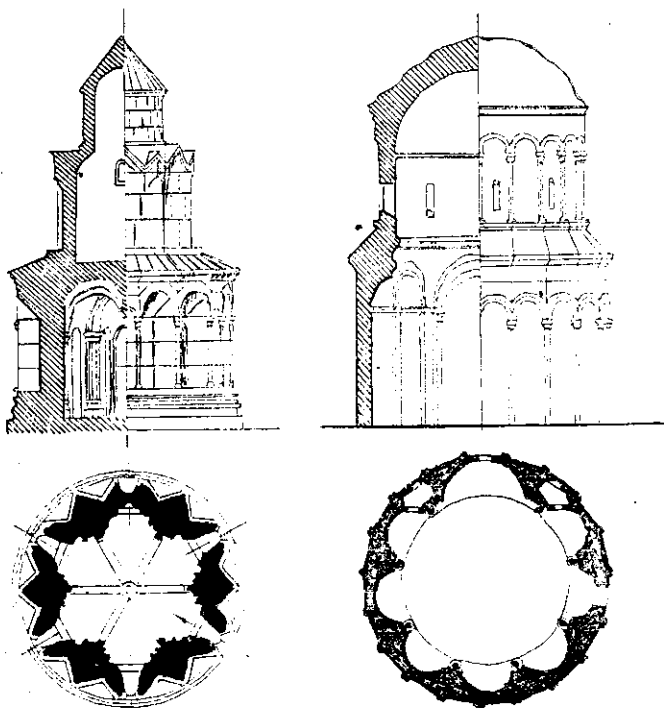


Рис. 45. Идеальные объемно-планировочные решения церквей XI века

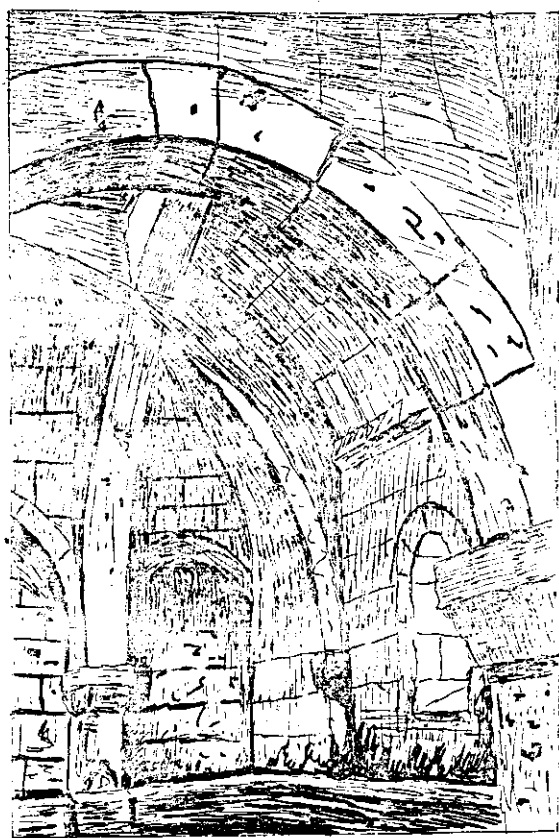


Рис. 46. Пересекающиеся арки-опоры большепролетного свода в монастыре Агарцин

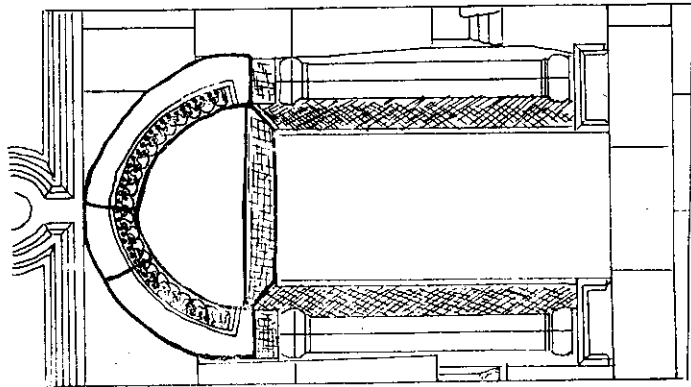


Рис. 47. Разгрузочная система над входом в церковь



Рис. 48. Все перекрытие рухнуло, но арка продолжает держаться

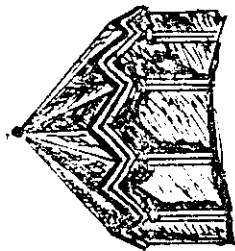


Рис. 49. Ребристый армянский купол

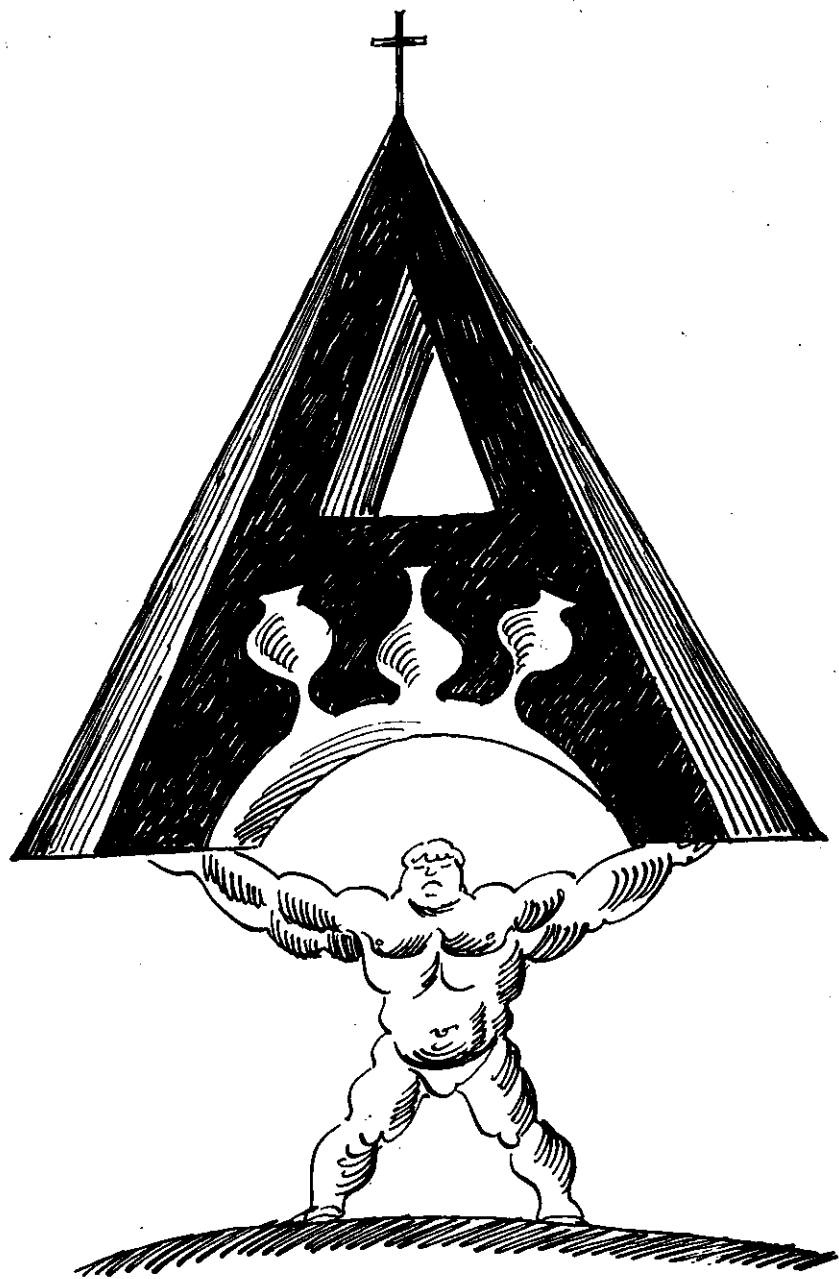


Рис. 50. Облегченный купол
армянских храмов



Рис. 51. Конструкция прохода в стене крепости циклопической кладки



Рис. 52. Устройство связи типа «ласточкина хвоста» между каменными блоками основания башни

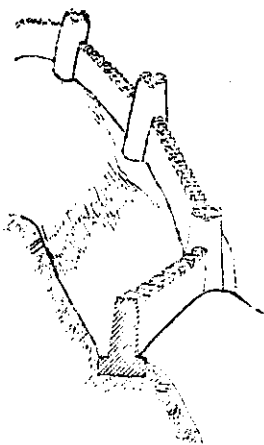


Рис. 53. Конструктивное обеспечение устойчивости крепостной стены против землетрясений

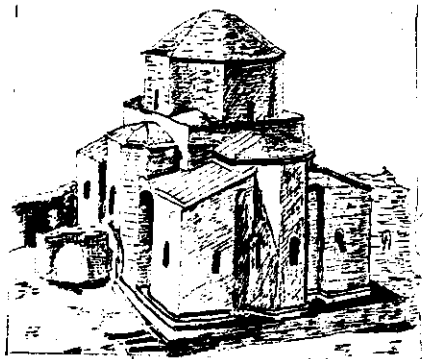


Рис. 54. Джвари — древнейший крестообразный в плане грузинский храм

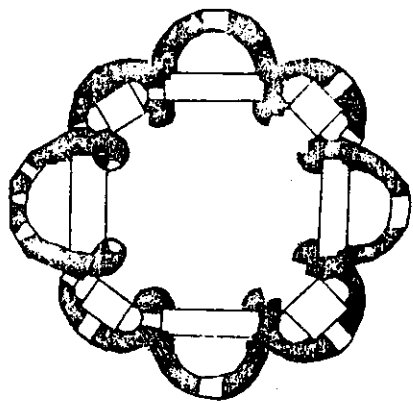


Рис. 55. Центризм храма Ниниоциинди

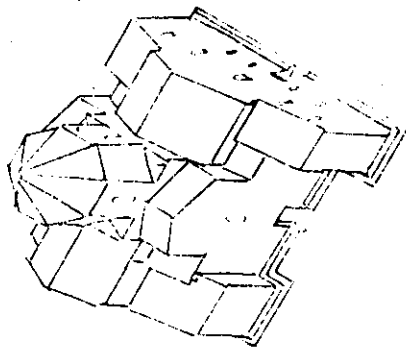
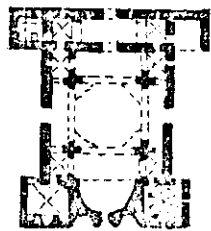
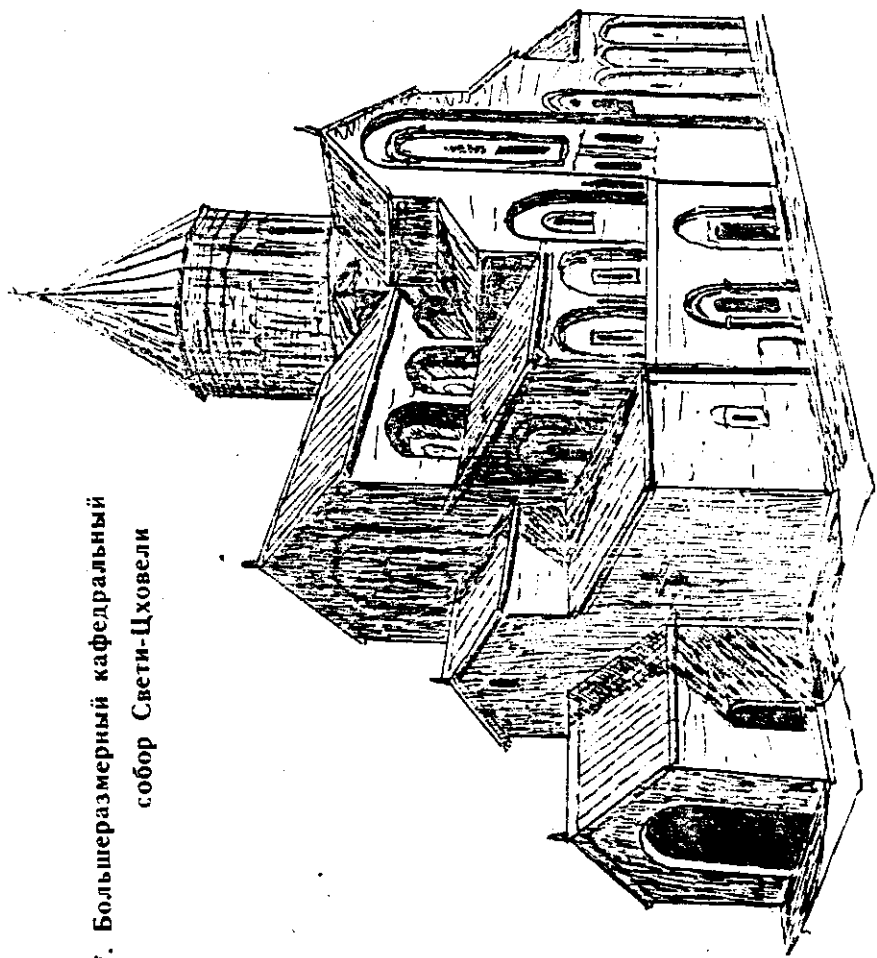


Рис. 56. Крестово-купольный храм Цроми

Рис. 57. Большеразмерный кафедральный
собор Свети-Цховели



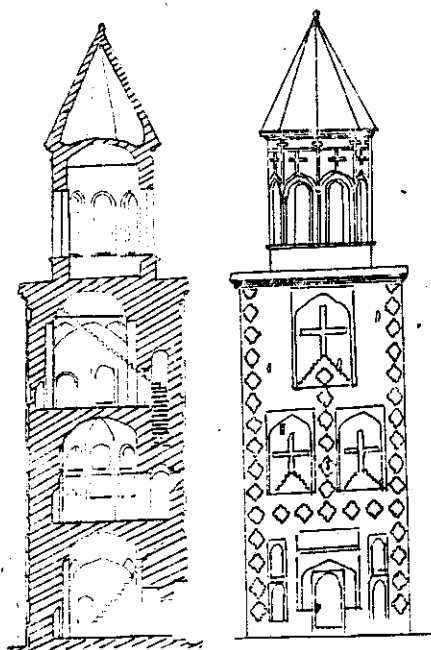


Рис. 58. Монолитность кирпичной колокольни в Наноцминди

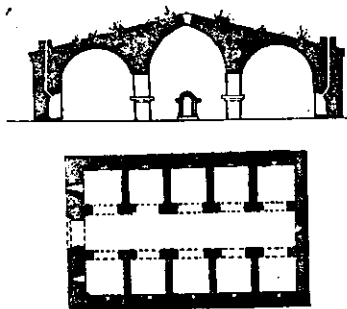


Рис. 59. Сводчато-разрезная конструкция караван-сарая

XII века



Рис. 60. Купол бани, состоящий из двух кирпичных оболочек, соединенных каркасной системой

Рис. 61. Перекрытие типа «Дарбази»

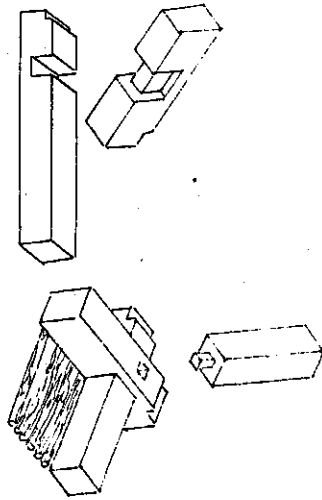
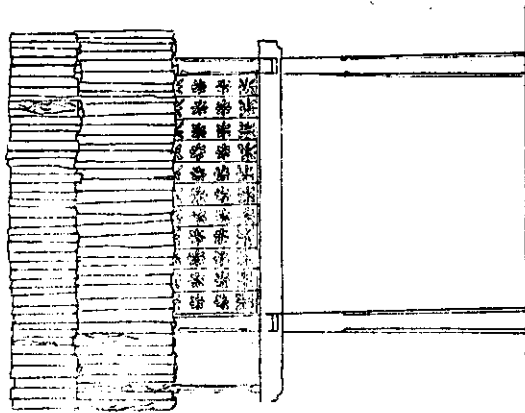
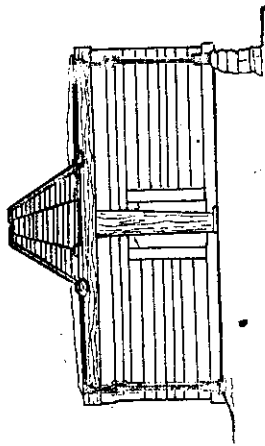


Рис. 62. Самое сейсмостойкое сооружение на Кавказе — обычный Кукурузник

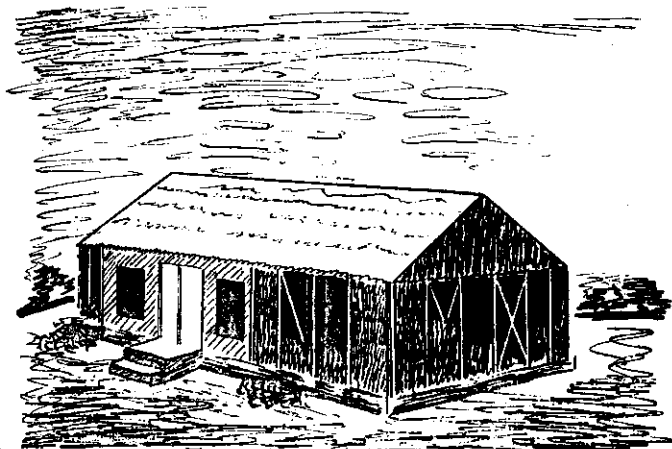


Рис. 63. Здание с деревянным каркасом и саманным заполнением

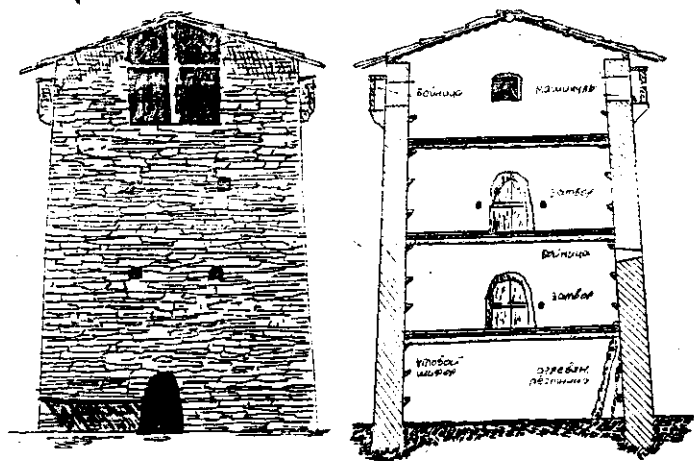


Рис. 64. Традиционная жилая башня

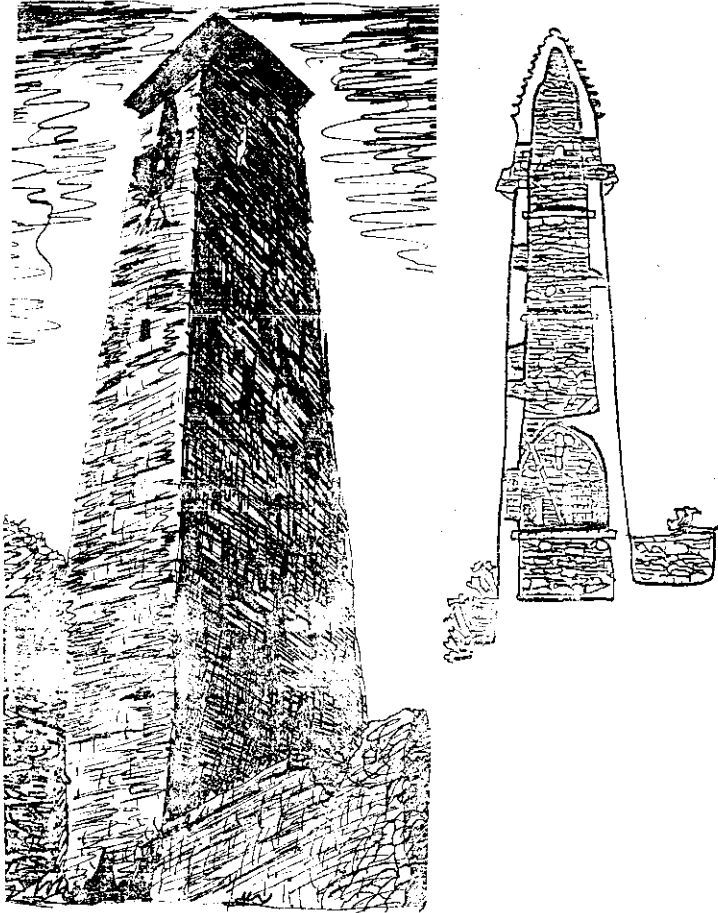


Рис. 65. Геометрическая гармония Вайнахской обевой башни

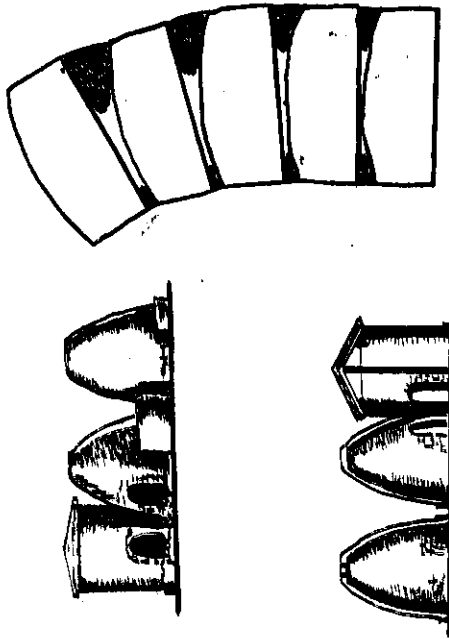


Рис. 66. Центрические древние куполообразные сооружения и их возведение из односторонне выпуклого кирпича

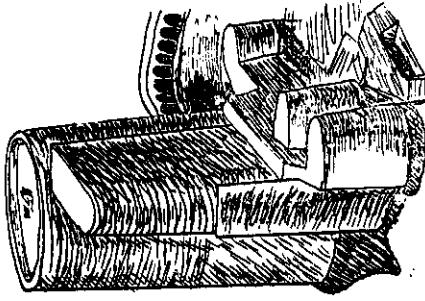


Рис. 67. Общий вид и разрез Девичьей башни в Баку

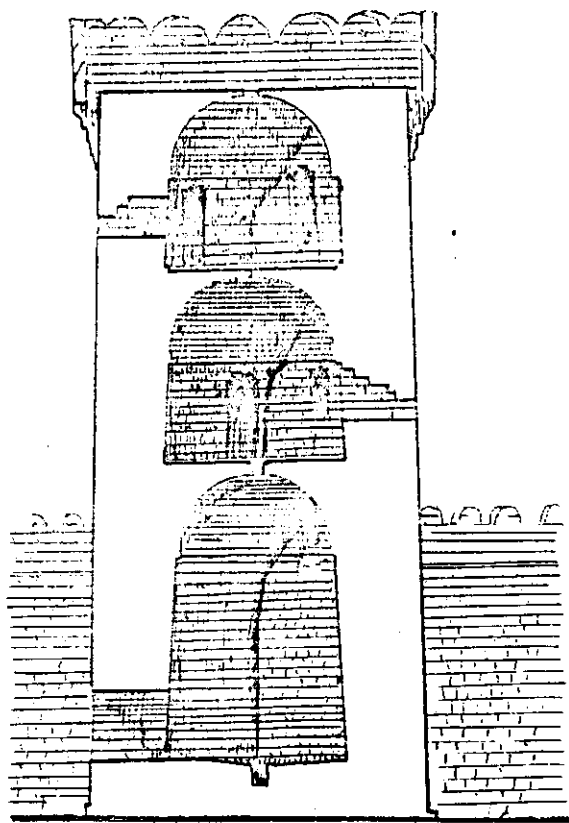


Рис. 68. Осесимметричная жесткая оборонительная башня

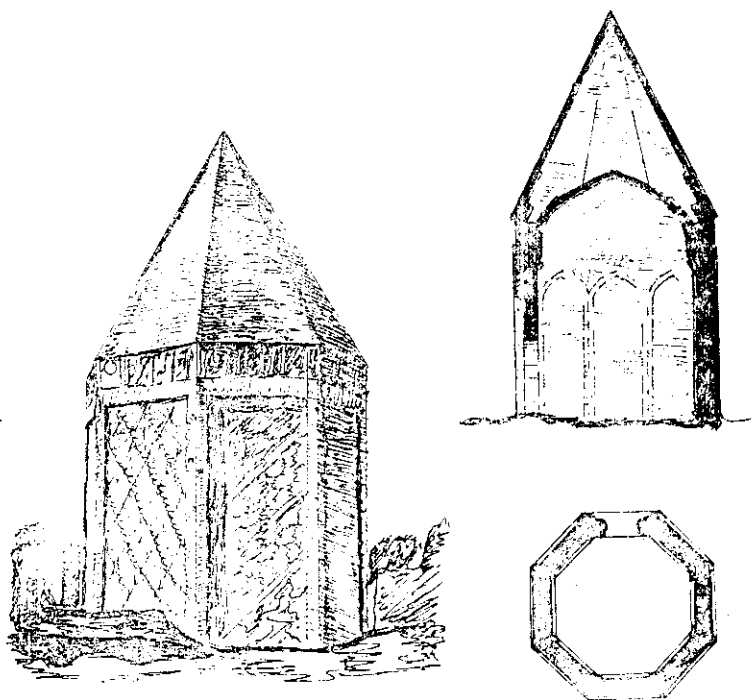


Рис. 69. Усыпальница ходжи Юсуфа Хамадаи, общий вид, разрез и план

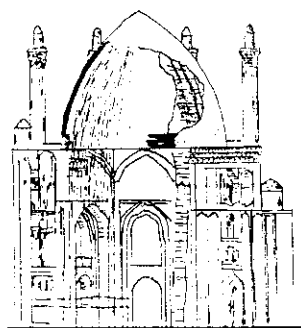


Рис. 70. Мавзолей Ходабенде в Султанье, в котором собраны все антисейсмические приемы XIV века

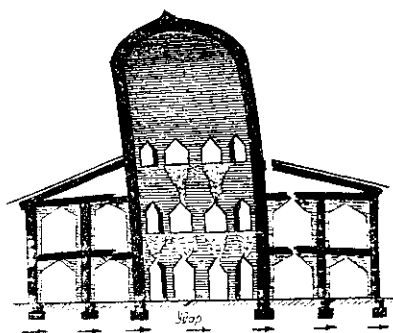


Рис. 71. Одна из стадий борьбы мечети за выживание

храмы. Так что ныне существующий в восстановленном виде храм Гарни чудом уцелел от того бурного времени.

Когда Вы первый раз встречаетесь с храмом Гарни, Вы невольно застываете в изумлении. Каким ветром сюда занесло в глубины Закавказья этот греческий храм. Перед вами вроде бы самый настоящий греческий периптер с завитками ионических колонн (рис. 34). Но это только на первый взгляд. При внимательном изучении этого храма, оказывается, что в нем гармонично сочетаются греческие внешние формы, восточные цилиндрические своды и строительные приемы армянских мастеров. Уже первый же внимательный взгляд на храм обнаруживает, что весь он составлен из деталей, вырубленных из базальта. Греческие мастера работали в мраморе и известке и обрабатывать базальтовые твердые глыбы они бы не смогли. Зато армянские мастера уже умели возводить оборонительные стены циклопической кладки из тщательно пригнанных базальтовых глыб. Попробуем разобраться в конструкции храма с точки зрения сейсмостойкого строительства.

Начнем разбор конструкции храма с его фундамента. Храм стоит близко к краю обрыва на наклонном участке скалы, поэтому с помощью бутобетона на известковом растворе скала была выровнена таким образом, что, образовалась горизонтальная площадка, на которую был поставлен храм. При этом ближе к обрыву толщина бутобетона достигала 2,5—3,0 м, с противоположной стороны она была практически равной нулю. Из такого же высокопрочного бутобетона, чисто повосточному, выполнена платформа, на которой стоит все сооружение, так называемый подиум храма. В греческих храмах такой подиум собирался из отдельных камней, соединенных железными скрепами, залитыми свинцом. Здесь же была устроена единая жесткая плита размером 24,8х17,4 м высотой 2,8 м. Есть подозрение, что монолитная плита подиума и монолит бетона выравнивающего скалу не были единым целым, а между ними была прослойка из песка. Вот Вам уже были перечислены три антисейсмических мероприятия храма Гарни. Первое, выровненное однородной прочности скальное основание под все сооружение. Учитывая близость храма к краю обрыва, что сильно деформирует и без того сложную нерегулярную картину сейсмических волн, однородность и прочность основания особенно важны. Второе антисейсмичес-

кое мероприятие, сейсмоизолирующая прослойка песка под монолитную плиту подиума храма, которая является его фундаментом. Эта прослойка песка, если она существовала, обеспечивала проскальзывание всего массива храма относительно движущейся во время землетрясения скалы, что естественно снижало сейсмические нагрузки на сооружение. Третье, самое интересное антисейсмическое мероприятие, это жесткая фундаментная плита. Она служит для выравнивания и осреднения того неоднородного сейсмического поля движений грунтового основания под сооружением во время землетрясения. Возведение гигантских защитных платформ под храмы от различных стихийных бедствий, в том числе и от землетрясений, давно известно конструктивное мероприятие. Уже в древнем Двуречье зиккураты возводились на платформах из кирпича. Для прочности и монолитности они армировались цинновками и канатами из тростника пропитанного битумом. Так зиккурат в Уре стоял на платформе размером в плане 62,5x43 м и высотой над уровнем земли в 15 м. Чем больше, тяжелее и жестче были эти платформы, тем лучше они сглаживали и гасили сейсмические волны под сооружениями. Такой же эффект гашения сейсмических волн был и под египетскими сверхтяжелыми пирамидами. Жесткая фундаментная платформа под храмом Гарни не была гигантской, но эффект гашения сейсмических волн она давала.

На рис. 35 дан поперечный, а на рис. 36 продольный разрезы храма Гарни. При монолитном фундаменте храма, а греки как известно растворы практически не применяли, стены молитвенного зала, целлы, наоборот, как и положено в греческом храме, выложены всухую, без раствора. Камни стен в вертикальном и горизонтальном направлениях соединены между собой железными штырями и скобами залитыми свинцом. При этом стены сложены из одинарных камней, так что ширина стены равняется ширине камня. Любопытно, что цилиндры, из которых собирались колонны, соединены между собой с базой и капителью, с плитой пола и с перекрытием двумя и тремя бронзовыми стержнями залитыми свинцом. Греки в таком случае ставили один центральный штырь. Плиты и балки перекрытия также соединялись с последующей заливкой их свинцом — это опять же древнейшее антисейсмическое мероприятие времен античности. Такое соединение обеспечивает между камнями не толь-

ко прочную связь, но и податливую. Соударения между камнями в этом случае быть не может и вся конструкция приобретает свойства эластично — пластические, что и требуется для сейсмостойкости конструкций.

Доказано, что храм Гарни имел над своей центральной частью, целлой, перекрытие в виде цилиндрического свода пролетом 5,5 м из клинчатых камней, соединенных известковым раствором. Эти своды видны на рис. 35, 36. Греки, как известно не применяли не только растворов, но и сводов, хотя прекрасно о них знали. Они устраивали более легкие деревянные стропильные перекрытия. Храм же Гарни целиком каменный. Пространство между сводом целлы, плоским перекрытием из плит над боковыми колонадами и кровлей из черепицы было залито известковым раствором с легким наполнителем из вулканических камней. Таким образом, двухскатная поверхность кровли была образована монолитом облегченного бутобетона (рис. 35). Единый жесткий диск перекрытия, объединяющий все несущие конструкции в единое целое, и образующаяся в результате замкнутая система — это также антисейсмическое мероприятие.

Теперь остается проанализировать общую конструктивную схему описанного храма с точки зрения сейсмостойкости. Как известно, греческие храмы имеют податливую связь между элементами и опираются на отдельно стоящие независимые фундаменты. В результате эти сооружения балочно-стоечной схемы не представляют из себя единого жесткого целого. Римские же литые из монолитного бетона конструкции наоборот представляют из себя жесткие единые массивы. Рассмотренный же храм между этими двумя крайностями занимает промежуточное положение. Два абсолютно жестких тела, нижнее — это платформа из тяжелого бутобетона, и верхнее — это перекрытие из камня и легкого бутобетона, а между ними податливая опорная связь из колонн и стен, образованная каменными блоками поставленными насухо и соединенными упругопластическими связями. В описанной конструкции сооружения все жесткости и массы расположены симметрично относительно продольной плоскости симметрии. Заметно стремление понизить общий центр тяжести всего сооружения. Размеры сооружения в плане умеренные, порядка 16x22 м. Все это отвечает требованиям сейсмостойкости. Но самое здесь интересно, что податливые колонны и стены будут ра-

ботать во время землетрясения как сейсмоизоляторы. Движения жесткой плиты основания не будут полностью передаваться на верхний массив перекрытия за счет смягчающего действия податливо работавших стен и колонн. Как видите конструктивная схема этого храма очень четкая, два жестких массива, соединенных гибкой связью. С точки зрения строителя, в этой четкой расчетной схеме храма заключена его главная загадка. Почему древний строитель, создав монолитные, с применением прочного известкового раствора, фундамент и перекрытие, не применил раствор при укладке камней целлы и цилиндров колонн? В это трудно поверить, но получается, что зодчий, строитель храма, уже 2000 лет тому назад, стремясь обеспечить своему творению долговечность и сейсмостойкость, умел создать высоконадежную систему сейсмоизоляции. Это же подтверждает и дальнейшая история существования этого храма. Он рухнул в 1679 году от землетрясения только после того, когда лишился большинства своих металлических скоб и штырей, залитых свинцом. А произошло это в результате того, что с изобретением огнестрельного оружия жители окрестных селений стали добывать свинец из его связей, чем сильно снизили сейсмостойкость храма.

Короче говоря, обширный комплекс антисейсмических мероприятий таких как сейсмоизоляция, симметрия конструкции, снижение веса, упруго-пластическая связь между элементами, прочность, разгрузочные системы над выходными отверстиями, все это вместе взятое обеспечило храму сейсмостойкость в течение шестнадцати веков. Не будь обычного человеческого вандализма, он простоял бы до наших дней.

Рассмотрев замечательное сооружение времен античности, выполненное армянскими мастерами с большим искусством, мы получили представление о строительной технике того времени. Теперь двинемся дальше по реке времени и посмотрим как менялась эта строительная техника в дальнейшем, когда в Армении было принято христианство и перед архитекторами были поставлены новые задачи. Необходимо стало организовать обширные внутренние пространства, где могли бы собираться верующие и проводить свои службы. Вера в одного бога требовала и соответствующего оформления культового сооружения. Необходимо также стало строить более

пышные дворцы, более неприступные крепости и более разнообразные жилые и общественные здания.

Самыми совершенными сооружениями были естественно храмы, в них воплощалась самая передовая инженерная мысль. С храмов давайте и начнем. Посмотрим как во времени менялось их общес объемно-планировочное решение, вид перекрытия и особенно важно как перекрытие, главным образом купольное, сопрягалось со стенами сооружения. Общая компоновка здания, его размеры, форма, способы соединения отдельных частей — все это важные вопросы с точки зрения сейсмостойкого строительства. Поэтому с этого мы и начнем изучать архитектуру Армении после принятия христианства в начале IV века.

Проследим как менялись объемно-планировочные решения армянских христианских храмов начиная с IV в., времени принятия христианства в Армении как государственной религии. Форма и размеры сооружения это важные факторы влияющие на его сейсмостойкость.

На самом первом этапе развития раннесредневековой армянской архитектуры в IV—V вв. строились самые простые однонефные (однозальные) церкви (рис. 37). При этом создается впечатление, что строительной опыт времен античности совершенно забыт. Но уже скоро этот опыт дает себя знать. На (рис. 37, а) показан план однонефной церкви в Диракларе. Эта церковь при каменных стенах имела, по-видимому, легкое деревянное двухскатное покрытие. Церковь показанная на (рис. 37, б) в Агараке VI в. была уже более сложной конструкции. Она была перекрыта цилиндрическим каменным сводом, усиленным кирпичными подружными арками опирающимися на выступающие из стен пилястры. Стены этих базилик были прочные и толстые. Они были трехслойные, стоящие из внешних облицовочных камней и связывающего их внутреннего бутового слоя на известковом растворе. Так что первые церкви, построенные в виде однонефных базилик при их небольших размерах представляли собой жесткие монолитные сооружения и были уже достаточно сейсмостойкими.

Потребность в увеличении внутреннего пространства церкви заставила перейти от однонефных базилик к трехнефным. На (рис. 38) показан план одной из наиболее ранних трехнефных базилик в Двине, тогдашней столицы Армении. Размеры этой огромной церкви 29х

57 м. Построена она скорее всего в I в. Толщина её стен почти 2 м. Внутри её находится семь пар крестообразных столбов, поддерживающих цилиндрические своды. Толстые стены предназначены для восприятия распора от сводов. Такое сооружение уже потеряло свойства жесткости, однородности и монолитности. Оно стало менее сейсмостойким, чем однонефное.

Следующий логичный этап развития конструкции трехнефной базилики, это когда были усилены четыре центральных устоя и на них был вознесен к небу каменный купол. На (рис. 39) показан план и общая компоновка собора VI в. в Мрене. Это уже почти крестово-купольная система. Не хватает той компактности и сжатости объема, которую мы увидим дальше у крестово-купольных центрических систем. На этом была почти исчерпана возможность к дальнейшему конструктивному и эстетическому совершенствованию церкви базиличного типа. Уже в VI в. в Армении основная тенденция в развитии архитектуры была направлена на развитие центрально-купольных систем, в том числе и крестово-купольных. Причин к выбору этого направления было несколько и одна из них была связана с высокой сейсмичностью каменной земли Армении. Компановка геометрически гармоничных центрических зданий лучше всего отвечает требованиям сейсмостойкого строительства.

Купол на барабане стал центральным мотивом армянского церковного строительства. Вокруг купола и его подкупольного пространства формировалось все соответственно центрическое сооружение. Купол в храме это не просто сложный конструктивный элемент и выразительная архитектурная деталь. Почти в каждой религии он несет важную смысловую нагрузку. Купол — это символ неба, где живут боги, куда направлены помыслы верующих. Купол мыслится центром храма по идейным соображениям, он же центр его по конструктивному решению.

Потребность увеличить подкупольное свободное пространство заставила зодчих разработать еще один тип купольных церквей логично связанных с купольными базиликами — это купольные залы (рис. 31). При этом конструктивным решением за счет увеличения диаметра купола расстояние между опорными устоями стало больше и сами устои примкнули непосредственно к стенам.

На (рис. 40) показан план купольной залы в Птгни VII в. В такой композиции армянские зодчие осуществили синтез базилики и центрально-купольной системы. С точки зрения сейсмостойкого строительства конструкция купольных зал лучше, чем купольные базилики, в которых имеются свободно стоящие устои, что в общем то нарушает однородную жесткость всего сооружения.

В VII в. в Армении и Грузии была создана группа оригинальных храмов, построенная в центрально-купольной системе с куполом на восьмигранном барабане (рис. 41). В этих храмах была решена не только исходная задача создания свободного подкупольного пространства, но и нашли разрешение многие строительные проблемы. Это прежде всего создание надежной опоры для купола и обеспечение его связи со стенами так, чтобы был образован единый пространственный монолит. Здесь уже купол опирается не на четыре отдельно стоящих пилона, как это было в купольных базиликах (рис. 39), а на восемь опор, составляющих единое целое, со стенами. В конструкции этих центрально-купольных храмов учтены практически все принципы сейсмостойкого строительства. Во всех направлениях замкнутые контуры, все несущие конструкции связаны между собой, форма всего сооружения устойчивая, заметно стремление к снижению веса. На (рис. 41, а) показан план церкви в Аване с куполом в 9 м с круглыми нишами.

Идея центричности находила воплощение в многочисленных совершенно фантастических по замыслу храмах. В качестве примера на (рис. 42) показана два плана таких сооружений: церковь Спасителя в Ани и Зора-вен близ Егварда. Оба храма VII в. Центризм в конструктивном смысле христианского единобожия нашли здесь законченное воплощение.

Высшего развития идея центрического храма достигла в гениальном произведении армянского зодчества — храме Бдящих сил — Звартноце, построенном между 643 и 661 г. г. Это громадное здание было задумано как храм-мавзолей, в котором хранилось мощи Григория Просветителя (рис. 43). Таких центрических зданий по сути дела с осевой симметрией, так как в их основу был положен цилиндр, в Армении и Грузии, кроме Звартноца, существовало несколько, Ишхани, храм Гагика в Ани, собор в Бана. Все эти сооружения разрушились по тем или иным причинам и не сохранились до нашего

времени, Звартноц простоял более 300 лет и рухнул в конце X века от землетрясения. Самым совершенным в конструктивном отношении, по-видимому, оказался собор в Бана (рис. 44). Он был разрушен во время войны только в XIX в.

Попытаемся разобраться в достаточно нетрадиционной конструкции Звартноца. Как видно на (рис. 42) храм представлял собой центрическое сооружение, состоящее из трех цилиндров пирамидой поставленных друг на друга. Диаметр нижнего почти 36,0 м, среднего порядка 26,0 м, общая высота около 45,0 м. В конструкции храма тщательно продумано куда и через что передаются и как распределяются нагрузки. Первый нижний самый большой и самый высокий барабан, облегченный прорезями окон, образован круговой стеной. Сечение этого яруса показано на рисунке. Второй барабан соответственно меньшего диаметра опирается на кольцо созданное из каменноизвесткового раствора. План этого кольца также показан на (рис. 43). Это очень важный и интересный элемент всей конструкции. Кольцо имеет длину 82 м по внешнему кругу, ширина его колеблется от 2,75 до 6,5 м и имеет толщину 1,5 м. Известковый раствор такой прочности, что трескается камень, а раствор кольца остается целым. В своей центральной части кольцо опирается на четыре главных пилонна, которые проходят через него и поддерживает самый верхний малый цилиндр с коническим куполом. В средней части кольцо опирается на колонны, а по краям оно связано с цилиндром стен. В результате нижний диск фундамента связанный с верхним диском каменноизвесткового кольца пилоннами, колоннами и стенами образуют единую пространственную систему замкнутую во всех направлениях. Эта пространственная система нижнего цилиндра храма служила надежной опорой для верхних цилиндров. Вся конструкция Звартноца получилась легкой и изящной, тем более строители старались как можно больше облегчить все сооружение, применяя в качестве заполнителя бетона туф, пемзу и вспененный абсидиан, закладывая в стены карасы — пустотелые горшки.

Если Вы обратили внимание, мы ни разу по отношению к конструкциям храма Звартноц не употребили слово «жесткие». Нам кажется, мы имели право это делать. Действительно, трехслойные стены выложены на известковом растворе, а этот раствор по сравнению с совре-

менным цементным более пластичен. Большой процент содержания массы известкового раствора в стенах сообщает всей конструкции свойства податливости. Об этом знали древние строители и поэтому каменным колоннам они стремились придать те же свойства податливости. Такая колонна изготовлялась из трех элементов: база, ствол и капитель. Каждый из них выполнялся из целого камня, а соединялись с помощью металлческих скоб залитых свинцом. Такой традиционный античный способ соединения жестких каменных деталей обеспечивал всей конструкции колонны пластические свойства.

Теперь о причинах разрушения храма Звартноца землетрясением. Многие ищут эти причины в конструкторских ошибках. Может быть качество кладки было плохим, может быть пилоны длинноваты, а может быть колонны слабоваты, может что еще. Мы согласны с Марутян Т. А., который высказывает мысль, что не было никаких существенных ошибок, все было тщательнейшим образом продумано. Действительно, посмотрите на рисунок храма Звартноц (рис. 43). Изучая конструкцию этого храма, в воображении рисуется картина как внутренние напряжения равномерным потоком от купола растекаются по всем взаимосвязанным элементам конструкции и стекают к фундаменту. Нигде этому потоку нет преград, нигде его главное течение не прерывается, и поэтому нигде нет перегрузок элементов и концентраций напряжений. Единственно, что повлияло на Звартноц отрицательным образом, это трехвековое владычество арабов, которое привело его к обветшанию. За это время в нем был пожар, может быть из него была устроена каменоломня и вообще вся эта безнадзорность привела к обрушению Звартноца.

В уже упомянутом выше грузинском храме в Бана несколько другие более устойчивые соотношения размеров. Диаметр нижнего цилиндра 38 м, то есть чуть больше, чем у Звартноца, при этом высота значительно меньше, всего 30 м. Если сравнить планы первого яруса храмов Звартноца и Бана (рис. 43, 44), то бросаются в глаза два существенных отличия между ними. Прежде всего круговая внешняя стена в Бана значительно прочнее, она состоит из набора контрфорсов. Прочнее здесь также четыре подкупольных устоя, которые превратились в основательные пустотелые башни. Совместная работа

центральных устоев и внешних стен обеспечила надежную основу всему сооружению. Купол здесь также умеренных размеров — 8 м. С точки зрения сейсмостойкого строительства объемно-планировочные решения этих осесимметричных храмов идеальны. В них гармонично слились две идеи, центрической системы доведенной до абсолюта и крестово-купольной конструкции.

Уровень достигнутой монументальной армянской архитектурой в VII веке можно назвать ее вершиной. С вторжением арабов это развитие было прервано. В конце IX века Армения вновь приобрела самостоятельность. Для X—XI веков характерно прямое повторение выдающихся произведений архитектуры VII века, теперь уже ставшими классическими. Иногда эти произведения повторялись в сокращенном или вообще уменьшенном вариантах. Для примера на рис. 45 показаны церковь Спасителя в Ани и похожая на замысловатую шкатулку церковь Пастуха, Обе XI века. Первая очень напоминает верхнюю часть Звартноца. Вторая совсем небольшая церковь является ярким представителем периода высшего расцвета армянского зодчества. В ней сконцентрированы не только декоративные, но и конструкторские приемы, выработанные предыдущими поколениями. С точки зрения сейсмостойкого строительства объемно-планировочные и конструкторские решения обеих церквей идеальны. Посмотрите на их вертикальные разрезы и планы, в них обнаружить какой-то изъян просто невозможно. Идеальная осевая симметрия, пирамидообразная устойчивая форма, кольцевая обвязка в уровне каждого перекрытия и фундамента, плавное сопряжение купола и всех остальных элементов между собой. Кстати, уменьшенные размеры архитектурных памятников этого времени также шли им на пользу с точки зрения сейсмостойкости.

После освобождения от арабского ига архитектура в Армении была не только разумеется подражательной, были и свои достижения. Хотелось бы обратить Ваше внимание на одно из них. XII столетие ознаменовалось созданием принципиально нового архитектурного и конструкторского решения. Зодчие разработали конструкцию больших безопорных зал перекрытых взаимопересекающимися арками поддерживающими каменные облочки. Опор расчленяющих внутреннее пространство здесь не было. На рис. 46 показан такой свод над

трапезной в монастыре Агарцин. Эти арки, кстати, имеют стрельчатое очертание, что важно для их устойчивости при землетрясениях. Такие системы арок над обширным неразорванным внутренним пространством мы встретим не только на Кавказе, но еще в более замысловатом виде и в Средней Азии. Каркасные системы из арок работающие совместно с оболочками обеспечивают высокую сейсмостойкость сооружениям. Об этом знали уже римляне, не зря они в свои литые из бетона купола втапливали кирпичные каркасы.

Замечательным примером более поздней армянской архитектуры является собор Гандзасар в Нагорном Карабахе, в котором сконцентрировано все, что накоплено народом-творцом за несколько столетий.

В этом здании изумительно плотно прилегают друг к другу криволинейные каменные блоки, из которых собраны две пары пересекающихся мощных арок несущих свод в притворе монастыря, ювелирно точно входят друг в друга замки каменных плит кровли. Такое ощущение, что если ухитрится разобрать все сооружение по камушку, то не составит никакого труда собрать весь собор заново, при такой точности пригонки камней каждый камень может быть поставлен обратно только на свое место. Такое высокое качество работ обеспечило этому храму то, что он простоял больше семисот лет без ремонта и реставрации, так во всяком случае утверждают местные армяне.

Храм не производит впечатления древнего замшелого сооружения с треснутыми стенами и расползающимся куполом, из щелей в котором растут деревья.

Здесь были рассмотрены основные типы объемно-планировочных решений некоторых армянских храмов с точки зрения их сейсмостойкости (16—22). Теперь необходимо рассмотреть отдельные конструктивные детали этих храмов, которые существенным образом влияют на сейсмостойкость всего сооружения.

Даже при правильном геометрически гармоничном осесимметричном объемно-планировочном решении всего здания, неудачное с точки зрения сейсмостойкости конструктивное решение его стен, может привести во время землетрясения к разрушению этого здания. Начнем рассмотрение конструктивных деталей древних армянских сооружений со стен, хотя и другие элементы конструкции

могут роковым образом влиять на сейсмостойкость всего здания.

Основной строительный материал, которым располагали армянские зодчие для возведения стен, это камень. Для несущих конструкций базальт, весьма твердая порода камня, и для облицовочных работ мягкая порода — туф разнообразных цветов. Со временем менялись архитектурные задачи, менялись люди и соответственно менялись технологии возведения стен. К сожалению эти изменения не всегда идут в лучшую сторону как нам того хотелось бы. Рассмотрим все по порядку.

На примере античного храма Гарни мы видели, что тогда в I веке применялась кладка насухо из крупных хорошо притесанных камней соединенных железными и бронзовыми штырями и скобами залитыми свинцом. Связующие растворы здесь не применялись. Этот способ соединения камней применялся и в последующее время до VII века включительно, элементы колони в Звартноце были соединены железными штырями залитыми свинцом. Такая податливая кладка состоящая из камней соединенных силами трения и элементами обладающими высокой пластичностью обеспечивает сейсмостойкость всему сооружению. Если мы отправимся еще дальше в глубь веков, то увидим не просто интересную, но самым настоящим образом загадочную и тоже сейсмостойкую кладку. Здесь имеется ввиду циклопическая кладка, когда стены толщиной в несколько метров собирались из тщательно пригнанных многотонных камней неправильной формы. Такую циклопическую кладку, следы древнейших цивилизаций можно встретить во многих регионах мира, на Кавказе, в древнегреческих Микенах, у инков в Южной Америке. Основная загадка этой кладки не в том, кто её делал, а как её делали. Можно представить как поднимали и двигали прямоугольные блоки египетских пирамид или воздвигали колоссов острова Пасхи, но фантазии не хватает, чтобы вообразить как ухитрились плотно пригонять друг к другу каменные блоки неправильной формы весом до 20 тонн, устраивая различные зацепы и входящие друг в друга выступы. Засунуть нож в шов между такими блоками, как известно, не представлялось возможным. Такие толстые стены устойчивые по своей геометрии, состоящие из взаимно сцепленных камней при этом прижатых друг к другу равномерно распределенным чудовищным весом, явля-

ются сейсмостойкими, что показала история их существования.

В первых же церковных сооружениях Армении применялся новый способ кладки стен. Теперь они не сложены сплошь из пригнанных друг к другу каменных блоков, а стали трехслойными. Конструкция их такова. Два параллельных ряда камней, пространство между которыми заполнено бутовым камнем смешанным с известковым раствором. В ранних грандиозных храмовых постройках, таких как Багаванский храм, внешние облицовочные плиты имеют внушительный размер высотой до 0,6—1,0 м. Расположены они разумеется с перевязкой швов. Эти громадные блоки чисто обработанные голько с внешней стороны, почти соприкасаются своими едва обработанными внутренними поверхностями, так что плоский рваный камень заполнения, залитый раствором, приходилось укладывать на ребро. В этих стенах нагрузку несет камень. По-видимому, было замечено, что однородность таких стен не была обеспечена, тогда в дальнейшем толщина наружных камней уменьшается. По высоте они тоже делаются меньше до 0,3—0,5 м. Камень теперь играет роль облицовки и служит как бы опалубкой. Внутренний толстый слой бетона на известковом растворе способен теперь воспринимать всю нагрузку. Учитывая свойства известкового мягкого раствора, такая стена с монолитным сердечником обладает теперь повышенными пластическими свойствами по сравнению со стеной, в которой преобладал каменный материал. Соответственно теперь и все сооружение с однородными монолитными стенами обладает пластическими свойствами. В результате сейсмическая нагрузка на здание снижается по сравнению с жестким таким же сооружением. Сейсмостойкость таких зданий с монолитными стенами подтвердил исторический опыт их многовекового существования в условиях повышенной сейсмичности Армении.

Следующий этап совершенствования конструкции стен связан с повышением их экономичности. Чтобы уменьшить расход материалов, стены стали делать тоньше, передавая нагрузку и на заполнитель и на облицовки. Возникла проблема обеспечить совместность работы всех трех слоев стены. Решение было найдено весьма удачное. Через три-четыре ряда в стену стали закладывать на всю её толщину длинные перевязочные камни.

Такие стены также обеспечивали сейсмостойкость всему сооружению. Столбы, пилоны, устои, своды и купола также возводились по тому же трехслойному принципу. Их контур возводился из камня, а внутреннее пространство заливалось бетоном. Это обеспечивало монолитность всему сооружению. Сейсмостойкость таких монолитных конструкций подтвердили многочисленные жесткие удары подземной стихии на протяжении многих веков обрушивавшиеся на древние сооружения Армении. Эти сооружения, как правило, выстояли, а уж если падали, то падали солидно, сохраняя в целости целые крупные фрагменты, а не рассыпаясь в прах, как это было с современными сооружениями при Спитакском землетрясении 1988 года.

Теперь посмотрим чем закончилось совершенствование древней трехслойной кладки стен в наш бурный век. Так к сожалению заканчивают свое существование многие хорошие идеи древности в наше время. В частности это относится и к сейсмостойкому строительству, в этом деле у древних есть чему поучиться. В XX столетии на Кавказе трехслойная кладка широко применяется как традиционная, она даже имеет специальное название — кладка мидис. Только ее конструкция резко меняется по сравнению с древней. Идея создания толстой монолитной стены с пластическими свойствами в современной доводится до абсурда. Теперь она собирается из мелкоштучных плохо связанных между собой камней. При высоте стены на этаж 2,5—4,0 м, ее толщина 30—40 см. Зазор между внешними облицовочными камнями делается небольшим и заливается цементным раствором. Небольшое внутреннее пространство не позволяет как следует заполнить все пустоты. Перевязочные камни устанавливаются в редких случаях. В сельских постройках вместо цемента часто употребляют глину. При внешней кажущейся фундаментальности такие стены весьма не надежны, являются хрупкими и низкопрочными, они часто при землетрясении подвергаются послойному вылучиванию, а то и просто рассыпаются на отдельные камни. Вставляемые иногда внутрь металлические сетки не меняют картины всеобщего разрушения таких стен. До великой трагедии Армянского землетрясения 1988 года, когда по средним подсчетам погибло 50 тысяч человек и большой вклад в это внесла мидисовая кладка, природа сделала два серьезных предупреждения о том, что

надо отказаться от применения этой кладки в современном исполнении.

Первое предупреждение связано с городом Ленинкаканом. Этот город был восстановлен после разрухи, связанной с революцией и гражданской войной. При этом широко использовалась кладка мидис на цементном, а то и глиняном растворе. Правда, ко времени сильного землетрясения, которое произошло здесь в 1926 году, как бы для сравнения сохранилось несколько хорошо построенных зданий из кирпича дореволюционной постройки. Это здание коммерческого училища, крепость и казармы — они сохранились. Кстати русская крепость хорошо перенесла разрушительное землетрясение 1988 года. При серии сейсмических толчков случившихся 22 октября 1926 года в Ленинкакане разрушилось более 70% всех зданий, погибло 355 человек и ранено 400. При таком сильном разрушении города малое количество жертв объясняется тем, что, при первых же слабых толчках земли, население покинуло свои жилища и больше туда не возвращалось. Общая панорама города представляла собой сплошные завалы из рухнувших зданий со стенами, как правило, выполненными по системе современной мидисовой кладки. Над этими завалами возвышались силуэты церквей, стены которых были также трехслойными, но выполненные по старой традиционной конструктивной схеме. Эти-то сооружения уцелели почти без разрушений.

Второе серьезное предупреждение было сделано 1 января 1937 года при Ереванском землетрясении, сопровождавшегося несколькими ударами. Это землетрясение было невысокой интенсивности, однако оно сопровождалась значительными разрушениями. Виной этому опять была современная мидисовая кладка, в которой при слабых уже толчках образуются трещины и происходит расслоение, а при сильных эта кладка вообще рассыпается. Был сделан окончательный и бесповоротный вывод, что мидисовая кладка в том виде, в каком она в настоящее время применяется, совершенно непригодна для районов дря слабой сейсмичности. Но видимо современный человек не способен не только здраво мыслить, но и учитывать свой же печальный опыт. Рухнувшие в 1988 году Ленинкакан и Спитак подтверждают это. Большинство рухнувших зданий имели стены все той же современной мидисовой кладки.

Вот мы познакомились с конструкцией стен армянских зданий и их антисейсмическими свойствами. Теперь давайте займемся другими антисейсмическими мероприятиями этих сооружений. Каменную землю Армении слишком часто сотрясали подземные бури, чтобы ее зодчие оставили этот факт без внимания. Поэтому ими разработано много всяких приемов, направленных на обеспечение сейсмостойкости древних сооружений. Кстати, само понятие антисейсмическое мероприятие довольно условное. Вот, например, армирование каменной кладки деревянными брусками мероприятие чисто антисейсмическое, а устройство водонепроницаемой отмостки вокруг фундамента храма, чтобы под него не попадала дождевая вода, это что? Это тоже антисейсмическое мероприятие, так как направлено на защиту фундаментов здания от неравномерных осадок. Гидроизоляция швов между блоками каменной кладки направленная на повышение ее долговечности, это тоже антисейсмическое мероприятие. Итак, перечислим несколько таких мероприятий.

Подобно тому как это делалось в Кносском дворце на Крите уже в XV в. до н. э. или у римлян, зодчие Армении применяли армирование деревянными брусками каменных стен для придания им связности и податливости. Армировались деревом также основания куполов и сводов, чтобы создать общую обвязку этим конструкциям. В наше время такие элементы, назначение которых объединить, связать всю конструкцию в единое целое, называются антисейсмическими поясами. В армянском зодчестве, чаще, чем обвязка из дерева, применялись антисейсмические пояса из камня. Выполнялись они из камней со специальными зацепами идущими по всему периметру сооружения.

Во многих древних сооружениях применялись разгрузочные системы. Назначение их предохранить от перегрузок и концентрации напряжений ответственные конструкции. Вспомните разгрузочный треугольник над «Львиными воротами» в Микенах или систему из многочисленных не соприкасающихся плит над погребальной камерой в пирамиде Хеопса. Армянские архитекторы также широко применяли разгрузочные устройства особенно над дверными проемами, чтобы обеспечить жителям возможность спокойно покинуть здание в случае землетрясения. Можно даже сказать, что армянские разгрузоч-

ные системы отличались повышенной надежностью. Их было создано множество и что ни дверной проем, то свое оригинальное исполнение, хотя общий принцип у всех примерно один. На рис. 47 показан портал Малой церкви Богородицы в монастыре Макараванк, построенной в XII столетии. Как видно из рисунка разгрузочная система состоит из двух элементов. Это, прежде всего, плита с полукруглым или со стрельчатым очертанием, прикрытая сверху от вышележащей нагрузки аркой. Конструкция арок в Армении имела свои любопытные сейсмостойкие особенности. Хотя эти арки имели очертание по кругу, они часто не делались из набора одинаковых клинчатых камней, а выполнялись всего из нескольких кирпичнейных брусьев. Сокращение числа элементов арки повышало ее надежность. Более того, составляющие арку камни снабжались специальными зацепами в виде зубов, входивших в каждый последующий камень. Это значительно снижало вероятность арки рассыпаться во время землетрясения. О повышенной надежности этих арок говорит то, что сейчас над развалинами древних сооружений на фоне голубого неба часто можно увидеть как выделяются контуры арок уцелевших после всех подземных бурь (рис. 47). В ранних памятниках был еще третий элемент, когда над дверным проемом укладывали каменный брус. В этом случае между полукруглой плитой и брусом в его центре устраивался зазор, чтобы снизить поперечные нагрузки вызывающие его изгиб. Древние прекрасно понимали, что камень хорошо работает на сжатие и плохо на изгиб.

Теперь несколько слов о форме знаменитых архитектурно выразительных островерхих ребристых армянских куполах. Первые христианские церкви имели легкие деревянные покрытия, что с точки зрения их сейсмостойкости хорошо. На смену деревянным покрытиям в V—VI в. в. пришли каменные цилиндрические своды, часто усиленные кирпичными арками, и купола. Кровля в этих криволинейных перекрытиях устраивалась из красной глянцевой черепицы уложенной по раствору. К X веку, когда возобновилось церковное строительство, перешагнутое арабским владычеством, черепица была вытеснена тонкими каменными плитами. Если фигурной черепицей с закрытыми стыками удобно было покрывать любые, в том числе криволинейные поверхности, то с появлением каменной кровли стали применять купола

конической формы с прямолинейной образующей (рис. 49). Эти литые купола из бетона на известковом растворе имели значительный вес и строителям по законам сейсмостойкости пришлось позаботиться о снижении их веса за счет облегчения забутовки купола. В забутовку замуровывали глиняные сосуды, ставя их вдоль свода поочередно дном вверх и дном вниз, также как это делали римские строители (рис. 50). Ребристость куполу придали собственно с той же целью, чтобы облегчить его, но в то же время эта ребристость обеспечивала куполу жесткость и прочность. В качестве заполнителя бетона использовались легкие туфы. В армянских куполах есть еще одна любопытная деталь. Барабан купола имеет слегка коническую форму, сужается вверх и расширяется вниз. Делается это по крайней мере по двум причинам. Первая, это зрительный эффект, такая форма создает иллюзию, что здание более высокое и стройное, чем это есть на самом деле. Вторая, коническая форма является более устойчивой во время землетрясения, чем цилиндрическая. Какая из этих причин важнее мы не знаем.

Здесь опять хочется вернуться к урокам землетрясения 1988 года, чтобы посмотреть как вели себя некоторые церкви при нем. При этом землетрясении еще раз нашло подтверждение истина о том, что для сейсмостойкости сооружения необходимо прежде всего обеспечить ему надежное основание. Наверное уже в XIX веке секрет выбора площадки для строительства монументального сооружения был утерян. Группа церквей, построенная в Ленинакане в прошлом столетии, была расположена в центре города вокруг площади Майского восстания. Это низменная часть города была сложена мягкими грунтовыми слоями, которые при замачивании совершенно теряли несущую способность. В результате землетрясения самое грандиозное сооружение этих мест храм Спаса рухнул из-за неудачного выбора застройки. Причина ослабления конструкции храма была самая прозаическая. Уже в наше всеобщее безответственное время вблизи него был устроен канализационный туннель. Потери воды из этого естественно дырявого туннеля замочили грунты под храмом, вызвав его неравномерные осадки и соответственно повреждения.

Теперь несколько слов о конструкции фундаментов армянских храмов. Как хотелось бы с позиций сейсмост-

тойкого строительства эти фундаменты, по-видимому, не изучались, поэтому о каких-то специальных приемах по повышенной сейсмостойкости зданий за счет фундаментов неизвестно. По тому что известно можно сказать, что фундаменты устраивались ленточные сплошные под все стены, расширяющиеся вниз, достаточно глубоко заложённые. Иногда это были плиты уложенные под все здание. Правда существует легенда, что Эчмиадзинский храм поставлен на песчаную подушку и это обеспечивает ему сейсмостойкость (21—25).

О СЕЙСМОСТОЙКОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ДРЕВНЕЙ ГРУЗИИ

В архитектуре Грузии, которая развивалась в тех же условиях, что и Армянская, строительные приемы, в том числе и антисейсмические мероприятия, были практически те же. Поэтому, чтобы лучше представить строительную технику Закавказья того отдаленного прошлого, в этой главе будем больше уделять внимания не уникальным храмам, а всяким другим бытовым сооружениям.

Немного о крепостях. Чтобы спокойно жить и трудиться в то беспокойное время, надо было прежде всего обеспечить себе безопасность. По этой причине в Грузии существовало множество крепостей. В VI—V в. в. до н. э. при строительстве крепостей еще применяются циклопическая кладка, которая ведется из огромных практически необработанных камней. Тут нет гигантских обработанных и тщательно пригнанных каменных блоков, что к этому времени существовали в древнегреческих Микенах. Но все-таки при укладке камней старались, используя их форму, плотно пригонять их друг к другу, устраивая между ними зацепы и расклинивания, чтобы с одной стороны противнику трудней было разрушить крепость, а с другой стороны такая кладка получалась достаточно сейсмостойкой, сохранившись во многих случаях до наших дней. Для примера на (рис. 42) показан дверной проем в стене крепости Авранлу. Его высота 1,90 м, ширина 1,75. Проем перекрыт одним монолитом длиной 2,2 м, шириной 1,8 м. В основании стены отдельные блоки достигают гигантских размеров 2,0x2,0x3,0 м. Сейсмостойкость этой кладки подтвердила само время.

Позднее стала распространяться более качественная с точки зрения сейсмостойкости кладка из правильных каменных квадров, уложенных пасухо и скрепленных деревянными вставками типа «ласточкина хвоста» или железными скобами залитыми свинцом. Из такой квадратной кладки возводятся стены и башни целиком или только фундаменты, а стены складываются из саманного сырцового кирпича армированного деревом. На (рис. 52) показана кладка основания башни крепости Арманшихе, относящейся к III в. до н. э. Как видно из рисунка, каждый камень всесторонне был связан с массивом других камней. При этом массив обладал некоторой податливостью и большим внутренним трением, что снижало сейсмические нагрузки на него. В это же время начинает применяться каменная кладка на известковом растворе. Еще до появления Александра Македонского, то есть уже в IV в. до н. э., древняя столица Грузии Михета была окружена стеной сложенной из камня на известковом растворе. В этом случае за счет известкового раствора жесткость конструкций значительно повышается. Здесь возникает естественный вопрос, а какие же с точки зрения сейсмостойкости конструкции лучше, податливые или жесткие. Однозначного ответа быть не может. И те и другие конструкции могут быть сейсмостойкими, все дело в конкретном исполнении. Жесткое массивное сооружение на мягкой прослойке вполне может быть сейсмостойким.

Это был разговор об материале крепостных сооружений, но с точки зрения сейсмостойкости очень важно общее объемно-планировочное решение всего сооружения. Поэтому для примера на (рис. 53) показан фрагмент крепостной стены Шорапанской крепости, относящейся к IV в. до н. э. Как видите геометрия профиля стены устойчива: соотношение высоты к ширине её основания 2:1, расширенный фундамент, наклон внешних поверхностей стен, что снижает общее положение центра тяжести стены. Кроме того через определенные равные промежутки устроены башни, назначение которых не только боевое, но и поддерживать стены и служить им контрфорсами в случае землетрясения. В опасных местах над обрывами сами башни поддерживаются дополнительными круглыми контрфорсами. В Шорапанской крепости имеется одна любопытная для нас деталь. В каменной кладке на известковом растворе здесь широко

непользуется кирпич для придания ей однородности и монолитности. Своды здесь делаются из кирпича, а в самой кладке устраиваются пояса из кирпичных плит. Точно такие же строительные приемы будут применяться позднее в Византии.

Теперь рассмотрим несколько любопытных с нашей точки зрения церковных сооружений. Естественно начать с храма Джвари, построенном в древней столице Грузии Мцхета. Этот храм является первым архитектурным памятником Грузии, в котором завершился период исканий по решению задач поставленных христианской религией. Здесь было создано обширное внутреннее пространство необходимое для богослужения. Храм был сооружен в 586—604 г. г. на высокой скале господствующей над местностью рядом с тем местом, где в начале распространения христианства в Грузии был построен большой деревянный крест. В плане храм представляет собой также крест (рис. 54), в углах которого расположены прямоугольные помещения. Все стены, внешние и внутренние, всех направлений, связаны между собой и объединены в единое целое. Храм по своему объемно-планировочному решению напоминает пирамиду, в вершине которой находится купол, поддерживаемый восьмигранным барабаном (рис. 54). Барабан купола плавно сопрягается с квадратом центральной части сооружения. Углы квадрата перекрыты арочными тропами. Весь центральный куб с куполом со всех сторон поддерживается выступающими сторонами креста и угловыми пристройками. Никаких внутренних свободно стоящих опор нет. Под каждую грань восьмигранного барабана есть опора являющаяся одним целым со всем сооружением. К этому описанию цельности объемно-планировочного решения храма могут добавить, что весь он стоит на небольшой прочной платформе из камня на известковом растворе. Кладка стен и купола храма Джвари выполнена из крупных тщательно пригнанных квадратов соединенных известковым раствором. Здесь еще не применяется трехслойная кладка, состоящая из облицовочных плит и внутреннего бутобетона.

Удачным объемно-планировочным решением с точки зрения сейсмостойкого строительства отличается Ницц-миндский кафедральный собор, относящийся к VI веку, план которого показан на рис. 55. В плане собор имеет форму креста как храм Джвари, только вместе

прямоугольных угловых помещений устроены круглые. Получилось идеальное центрическое сооружение, стены которого состоят из восьми слитых воедино полуцилиндров. Все это накрыто куполом, который теперь легко было сопрячь со всей конструкцией. Такая компоновка лучше, чем если бы это был просто один большой цилиндр, так как гофрированные стены отличаются большей прочностью и жесткостью.

Следующий шаг вперед в решении архитектурных задач был сделан в храме Црми, у которого купольное пространство было еще больше расширено за счет того, что купол теперь опирался на свободно стоящие четыре столба (рис. 56). Стремительство храма в Црми знаменует собой начало применения в архитектуре Грузии крестово-купольных систем. С точки зрения сейсмостойкости это конструктивное новшество снизило надежность сооружений, в которых оно было применено. Во-первых, была нарушена центричность, жесткость и масса торцевых стен была различной. В более поздних памятниках грузинской архитектуры стали еще сдвигать купол к одной из торцевых стен, чем совсем нарушили принцип симметрии. Во-вторых, сооружения выполненные в крестово-купольной системе являются конструктивно более сложными, часто громадных размеров, и следовательно менее сейсмостойкими по сравнению с конструкциями, когда, как в храме Джвари, опирание купола проводилось непосредственно на стены. Исторический опыт подтверждает сказанное. Купол храма Црми давно рухнул, а храм Джвари в целом состоянии до сих пор парит над долиной, составляя единое целое с окрестными горами.

Теперь о трех величайших грузинских кафедральных. На грани двух тысячелетий в X—XI веках было возведено три огромных сооружения: Алавердский, Кутаисский и Мцхетский Свети-Цховали кафедральные соборы. На (рис. 30) показан общий вид собора Свети-Цховали, который много раз повреждался завоевателями и стихиями и столько же раз реставрировался. В результате этот довольно удачный гибрид крестово-купольной системы и базилики сохранился до наших дней и им можно полюбоваться недалеко от Тбилиси. При этом интересно, что в V веке на этом месте была построена огромная базилика и в XI веке, когда начали строить собор в него были включены элементы старой базилики. Как

видно из рисунка, весь собор вписан в вытянутый огромный прямоугольник размером 54x26 м. Жесткость его довольно неоднородна, массы распределены также неравномерно, но зато тщательно воплощается принцип каркасности. Все устойчиво со стенами и между собой соединены арками, что обеспечивает работу всему собору как единой пространственной системе. Важно и другое антисейсмическое мероприятие, это конструкция стен. Здесь сочетаются лучшие строительные приемы античности и самые передовые того времени. Кладка стен здесь разумеется трехслойная, облицовочные тщательно пригнанные камни прямоугольной формы имеют толщину 0,20 м, пространство между ними 0,60 м, заполнено прочным пустым известковым раствором со щебнем. Очень важно здесь то, что часть камней соединены между собой металлическими скобами, а также имеются ленты арматурного железа уложенного в специально подготовленные в камне канавки.

В следующие века в строительной технике Грузии широко стал применяться кирпич. В качестве удачного образца кирпичной архитектуры XVI века можно привести колокольню в ограде древнего кафедрального собора в Нанацминда (рис. 58). По своей планировке эта трехэтажная колокольня могла одновременно служить оборонительной башней. В этой колокольне продемонстрированы большие и разнообразные возможности кирпичной кладки. Каждый из трех этажей перекрыт сводом, которые отличаются своими конструктивными решениями. Одновременно эти перекрытия служат антисейсмическими поясами, которые стягивают колокольню в единое пространственное целое. Купол звонницы двойной, он образует единое замкнутое пространственное тело, которое поддерживают восемь столбов. Орнамент внешнего оформления незатейлив, но весьма выразителен. Главным же с точки зрения сейсмостойкости в этой колокольне является её качество кладки, она прочная, однородная, монолитная и даже более пластичная, чем если это была бы каменная кладка. И вообще добиться таких нужных для сейсмостойкости всего сооружения свойств кладки из кирпича легче, чем из камня. Теперь от уникальных культовых сооружений перейдем к обыкновенным бытовым конструкциям и увидим, что они по своему тоже уникальны, что они тоже строились с великим прилежанием и рассчитывались на многие века.

На рис. 59 показан разрез и план караван-сарая XII века, построенный на торговом пути возле озера Паравани, сохранившийся до наших дней. Здание имеет длину 26,0 м. Оно построено из кирпича и обработанного камня на известковом растворе. Это прямоугольное здание состоит из трех частей. Средняя часть — коридор, по обеим сторонам которого расположены помещения для людей и товаров, которые перекрыты сводами пролетом в 4,0 м. Самым пожалуй интересным с точки зрения сейсмоки здесь является то, что это сооружение разрезано на две равные части, точно по осевой линии. В середине центрального свода устроен как бы шарнир, с помощью вставленного без раствора клиновидного камня. Это позволяет двум частям здания, каждое из которых представляет собой единое пространственное жесткое целое, иметь небольшие повороты и подвижки друг относительно друга, не разрушая при этом свод над центральным помещением. Кстати, этот же строительный прием использовали зодчие Византии при строительстве многопролетных мостов. У сводов этих мостов в замке устривались швы без всяких клиновидных камней. В результате из свода образовались две консоли переменной прочности и жесткости. Теперь каждый устой моста, не связанный с соседними, мог двигаться независимо и даже разрушение какого-то устоя не влекло за собой разрушение соседних. Здесь со швами в сводах мостов все понятно, а вот зачем грузинские зодчие вкладывали клиновидные камни, не совсем понятно.

Теперь поговорим еще об одном важном для человека типе сооружений, о банях. Если в храмах люди очищали душу, то в банях тело, а римляне вдобавок, вели философские диспуты, писали стихи, решали политические проблемы. Подробно давайте рассмотрим только одну конструкцию бань, строившихся в районе Тбилиси в XIV—XVIII веках, хотя, конструктивно совершенные бани из кирпича существовали уже в XII веке. На рис. 60 показан двойной купол одной из бань XVI века. Глядя на этот конструктивно совершенный купол, очень хочется сравнить его с величайшими двойными куполами из кирпича того времени мавзолея Ольджайту в Султанни начала XIV века, Флорентийского собора Брунеллески XV века и собора Петра Микеланджело в Риме XVI века. Разумеется сравнить нашу баню с этими выдающимися архитектурными памятниками можно

только очень условно, по давайте подробно рассмотрим конструкцию ее купола и давайте выводы сами. Для бань применялись купола сферической и параболической (яйцевидной) формы. Во всех трех выше названных уникальных сооружениях купола были параболической возвышенной формы, чтобы уменьшить распор от них. Все купола были выложены из кирпича на прочном известковом растворе. В нашем случае все элементы купола были выложены из кирпича одного типоразмера $23 \times 23 \times 4$ см. Перекрывались пролеты обычно в 6,0—8,0 м, бывало и больше. Первая, внутренняя оболочка образована из кирпича, уложенного на ребро и следовательно имеет толщину 23 см. Далее заложена целая система из кирпичных ребер в виде арок, связанных между собой. Каждая арка выложена из двух кирпичей, поставленных на ребро. Здесь в замкнутой каркасной системе внутренней конструкции двойного купола есть две особенности, которых нет в трех выше названных замечательных куполах. Первая, это наличие почти диагональных ребер, которые повышают каркасность всей системы. Более совершенный каркас в римском пантеоне, относящийся к I веку. Вторая особенность, специальные выступы в уровне арочного каркаса, усиливающие опорное кольцо и улучшающие совместную работу внутренней и внешней оболочки. Внешняя оболочка также выложена из кирпича, уложенного на ребро. Две оболочки, соединенные между собой арочным каркасом, образуют купол бани. Обе оболочки получились несущими, а внутри, где материал купола не загружен, образованы пустоты, что значительно снижает его вес. В Флорентийском соборе только внутренняя оболочка несущая, внешняя же является кровлей. В углах квадрата помещения бани устроены арочные тромпы, обеспечивающие сопряжение купола с самим зданием.

Кстати, широкое применение сводов и купольных перекрытий в самых разнообразных сооружениях Грузии, связано с народными традициями. Здесь при строительстве жилых домов применялись конструкции, которые носят специальные названия «дарбази». В этой постройке центральная жилая комната имеет перекрытия особой конструкции типа купола (рис. 61). В этом деревянном многогранном куполе, типа «ложного свода», образованном постепенным надвигом деревянных брусков, имеется световое отверстие. Бруски в куполе

с помощью гвоздей и врубок, объединены в единую пространственную систему. Весь купол поддерживают стены и два или четыре специальных столба, расположенные внутри помещения. Все это легкое и податливое перекрытие по своей конструктивной идее напоминает крестовокупольную систему. Конструкция жилища типа «дарбазы» была сейсмостойкой и поэтому находила широкое применение.

Если бы мы с вами отправились в путешествие, по Кавказу в поисках самого сейсмостойкого для здешних мест сооружения, то мы думаем у нас на первом бы месте оказался самый обыкновенный кукурузник. Это амбар для хранения кукурузы, который для защиты ее от животных, поднят высоко над землей (рис. 62). Вот здесь соблюдены все законы сейсмостойкости и даже больше. Конструкция легкая, симметричная, выполнена из прочного гибкого материала, соединения все шарнирные и вдобавок ко всему имеет сейсмоизоляцию с помощью длинных гибких опор, не связанных между собой в уровне земли. По своей сейсмостойкости, такой кукурузник приближается к дирижаблю, висящему над землей, и связанному с ней только якорными канатами. Если уж мы заговорили о легких жилых постройках, то необходимо сказать о еще одном типе подобных конструкций. Речь идет о жилых домах с деревянным каркасом и заполнением его различными местными дешевыми материалами. В качестве такого материала применяется обожженный кирпич, саманная масса, т. е. глина, смешанная с рубленной соломой или жестью животных, и вообще все, что есть под рукой, вплоть до коровьих лепешек. После высыхания вся конструкция промазывается глиной и красится, получаются теплые удобные дома (рис. 63). Эта незатейливая конструкция жилища начала применяться на заре человеческой истории везде, где было дерево и глина. Больше того, с этих простейших сооружений из палок и глины началось решение проблемы сейсмостойкости. В Китае задолго до новой эры такие жилища возводились следующим образом. В землю по кругу вбивались столбы, которые связывались между собой веревками. Потом все это обмазывалось глиной. Перекрытие устраивалось примерно также, иногда с центральным несущим столбом. Получалась вполне сейсмостойкая конструкция. В Египте в древнейшие времена, одновременно с пирамидами Джосера и Хеопса, крепост-

ные сооружения и дворцы вельмож возводились по этому же способу. На Кавказе и в Средней Азии возводились и еще долго будут возводиться постройки по этому способу. Качественно выполненные с соблюдением традиционных приемов, эти жилища хорошо ведут себя при землетрясениях. Действительно их конструкция отвечает всем принципам сейсмостойкого строительства: легкие, податливые, симметричные, замкнутый каркас, пластичный материал. Больше того, эти простейшие сооружения способны перестраивать свои конструктивные схемы, чтобы снизить сейсмические нагрузки во время землетрясения. Сказано громко, но так оно и есть на самом деле. Если в этих глинобитных домах сейсмическая нагрузка превышает определенный уровень и они попросту начинают трещать, то разрушившись, прежде всего вываливается глиняный заполнитель, что, как правило, не опасно для жизни людей. В результате снижается вес всего сооружения и повышается гибкость несущего деревянного каркаса. Для сооружения с новыми физическими параметрами сейсмическая нагрузка снижается.

Если мы уж заговорили об обороне и изучаем Кавказ, то совершенно нельзя обойти молчанием разнообразные хозяйственные и боевые башни, разбросанные по всему Кавказу. С архитектурной точки зрения домкредности интересны тем, что они определяют силуэт любого древнего селения. Каждая такая башня состояла из трех основных элементов: нижнее помещение для скота, средние жилые этажи и верхний оборонительный этаж. В Грузии основным строительным материалом был шифер. Это камень легко выламываемый пластинами. В качестве раствора, иногда применяли известь, но чаще всего это была глина. Приведем примеры двух таких башен. На рис. 64 показана жилая башня в Тушетии, однотипная с башнями в Севанетии. С точки зрения сейсмостойкости основное, что бросается в глаза, это геометрически устойчивые формы башни. Она представляет собой приземистый монолит с двумя плоскостными симметриями на глубоком фундаменте, врезанном в скалу. Но самое, пожалуй, здесь интересное, что стены здесь имеют наклон внутрь и слегка сужаются кверху, что придает всей башне коническую форму. Кровля двускатная, достаточно легкая.

В качестве другого примера хочется привести Вайханскую боевую башню. От всей стройной башни суровых форм веет настоящей архитектурой (рис. 65). Высота таких башен была 20—25 м, сторона плана — 5—5,5 м. Число этажей от пяти до семи. Очень сложно у этих башен, как и у вышеназванной, выложены стены, они утоньшались кверху и одновременно имели наклоны внутрь, в результате силуэт башен имел четко выраженное сужение. Этим строители добивались снижения веса конструкции, понижения ее центра тяжести, симметрии и в конечном счете, повышения сейсмостойкости. Кладка стен велась на прочном известковом растворе. Каждый камень тщательно выбирался, трещиноватые, выветренные породы не применялись. Существовала даже поговорка, что из камней башни можно построить целое селение, а вот из камней селения нельзя построить башню. Здесь имелось в виду, что на жилое строительство шли любые камни, и если провести отборку только качественных, на башню их не хватит. Если в вышеназванной башне междуэтажные перекрытия устраивались деревянными, то в Вайханской башне, более совершенной конструктивно, перекрытия выполнялись из того же камня в виде замкнутого ложного свода, путем постепенного надвига камней, что создавало жесткие диски по всей высоте башни. Эти диски соответственно играли роль антисейсмических поясов. Создавать такие диски было возможно при наличии прочного раствора. Получалось, что в Вайханской башне все принципы сейсмостойкого строительства соблюдались, кроме может быть принципа сейсмоизоляции, хотя есть подозрение, что и этот принцип соблюдался. Замечено, что под фундаментными блоками боевых башен находятся прослойки песка. Песок в основании сооружения обеспечивает равномерную загрузку фундаментов, соответственно их равномерную осадку и возможность сооружению проскальзывать относительно движущегося во время землетрясения скального основания. Кстати, скальное основание тщательно выбиралось перед началом строительства. Скала в основании башни не должна быть трещиноватой и выветренной. Это проверялось очень просто. Наливалась лужа молока, и если молоко уходило в грунт, а не просто высыхало, то считалось, что место для строительства башни не подходит. Оригинально также проверялась плотность укладки каменных блоков. После окон-

чания строительства в башню пускали мышку, и если она убежала, строители не получали премию. С высоты башен, естественно, спуститься под землю.

Можно перечислить множество подземных сооружений Древней Грузии. Уже в I веке до н. э. существовал пещерный город Уплисхихе. Одна из подземных больших залов этого города являлась театрально-зрелищным помещением. С наступлением христианства в Грузии отцы-отшельники активно стали вырубать подземные монастыри скелями, храмами, водопроводами и всем, что положено, чтобы нормально существовать. Мы начали рассказывать о подземных городах, чтобы обратить ваше внимание на поведение подземных сооружений во время землетрясения. Кстати, такие сооружения существовали во многих странах древнего мира: Индии, Китае, Арабских царствах, Юго-Восточной Азии. Самое здесь главное, на что хочется обратить ваше внимание, на то, что эффект сейсмического воздействия на подземные сооружения снижается. Самый большой эффект землетрясения обычно проявляется ближе к поверхности, где проходит граница между грунтом и воздушным пространством. Здесь образуются поверхностные волны. С глубиной эффект землетрясения быстро снижается. Известно несколько случаев, когда на поверхности земли происходили сильные землетрясения, а шахтеры под землей его не чувствовали. Поднявшись на поверхность, они видели разрушенный город. Кроме снижения эффекта землетрясения в подземных сооружениях автоматически выполняются многие принципы сейсмостойкого строительства: монолитность и однородность материала конструкции, заглубленные фундаменты, замкнутые контуры несущих конструкций. Короче говоря, при сейсмических воздействиях подземные вырубленные в горных массивах сооружения ведут себя хорошо.

На этом мы заканчиваем выборочный рассказ о древней замечательной архитектуре Армении и Грузии, в которых господствовала Христианская религия, наложившая соответственно свой отпечаток. Далее мы отправимся в мусульманскую страну Азербайджан. Но прежде хочется рассказать одну замечательную притчу. Кто-то очень точно сказал, что настоящая архитектура оставляет после себя величественные развалины, а плохая архитектура оставляет после себя строительный мусор. Имеется в виду, что в настоящем архитектур-

ном творении гармонично сочетаются внешний вид и внутреннее конструктивное содержание. Этому выше мы привели примеры. Древние сооружения при Спитакском землетрясении 1988 года мало пострадали, а те, что разрушились в незначительном количестве, развалились на крупные фрагменты. Современные же сооружения обратились в прах, оставив после себя один мусор.

ЗОДЧЕСТВО АЗЕРБАЙДЖАНА

Сейсмические бури, возникающие в недрах Кавказских гор, сотрясают и эту огромную равнину, составляющую центральную часть Азербайджана. С трех сторон эту равнину окружают горные хребты, а с восточной, четвертой стороны, равнина сливается с Каспийским морем, далеко врезааясь в него Апшеронским полуостровом. Разнообразие природных богатств, в горах много камня, на равнине глина, свои исторические традиции, другая вера, все это породило свои архитектурно-строительные задачи и свои решения для этих мест. Имеется, разумеется, связь с другими народами Кавказа, но прослеживается более тесная связь с народами Средней Азии. На землях этой плодородной долины люди селились очень давно, найдены поселения оседлых скотоводов, относящиеся к VI—IV тысячелетиям до н. э. Уже эти селения были застроены круглыми хижинами из сырцового кирпича (рис. 66). При этом возводились не только небольшие жилые постройки, но и крупные общественные и культовые сооружения. Уже в этих ранних постройках есть чему удивиться и чем восхититься, настолько все в них разумно и целесообразно. Посмотрите на форму этих сооружений. Самы стены у них имеют идеально круглую форму плавно переходящую в купол параболического очертания. С точки зрения сейсмостойкости это прекрасная форма конструкции, но совершенно ясно, что библейские скотоводы ни о каких параболических формах не думали, хотя на «сотрясателя земли» обращать внимание могли. А думали они о том, как из глины соорудить себе достаточно удобное жилище. В условиях отсутствия дерева, древние строители пришли к выводу, что надо строить из заранее заготовленных, высушенных на солнце кирпичей. Перекрывать свое сооруже-

ние они решили куполом из тех же кирпичей. Логический круг замкнулся, все сооружения надо делать круглыми, а купол автоматически получается параболическим, так как образуется постепенным наклоном кирпичей внутрь. При этом каждое уложенное кольцо из кирпича должно сохранять равновесие без поддержки с помощью дополнительно устраиваемой опалубки. Короче говоря, такой купол в любой незаконченной стадии может находиться в равновесии без окончательного замыкания. Идея сформировалась, оставалось дело за малым, придумать удобную форму кирпича. Вот тогда-то и решили применять односторонне выпуклый кирпич (рис. 66), естественно, для прочности и легкости добавляя в него солому. Мысль просто замечательная. Теперь любой последующий кирпич во время кладки легко можно установить под нужным наклоном относительно нижележащего, достаточно его повернуть по криволинейной поверхности. Остается заполнить швы глиняным раствором. Далее, нам кажется, при такой конструкции кладки, во всем сооружении должен возникать совершенно необычайный эффект. Так как материал постройки—мягкая необожженная глина, армированная соломой и ряды кирпича могут поворачиваться как-то друг относительно друга, то все сооружение включая купол может безболезненно деформироваться, проявляя свои пластические свойства. Высокие деформационные свойства сооружения могут значительно снизить сейсмические нагрузки. Короче говоря, получается, что по деформационным показателям купол вел себя также как, если бы он был сделан из толстой резины. Прочностью свойства у него, конечно ниже, чем у резинового. Вот такими мудрыми были древнейшие скотоводы.

Теперь вам расскажем об отдельных архитектурных памятниках Азербайджана, чтобы вы могли представить все разнообразие архитектуры этих мест.

Начнем с весьма любопытного архитектурного памятника, с Девичьей башни, которой до сих пор можно любоваться в Баку. Ее общий вид и разрез даны на рис. 67. По своему виду и конструктивному решению башня резко отличается от других оборонительных и культовых сооружений Азербайджана. Все в ней загадочно. С одной стороны это вроде бы башенный храм огнепоклонников, с другой стороны оборонительная

башня. Девичьей она называется потому, что враг ни разу не овладел ею.

Эта башня представляет собой восьмиэтажное сооружение в виде слегка усеченного конуса, стоящее на наклонном участке скалы, поэтому ее высота с одной стороны равна с парпетом 32,0 м, а со стороны моря 35,0 м. Как видно на рисунке, с той стороны, куда башня могла бы сползти по наклонной скале, к башне примыкает мощный контрофорс, который в свою очередь подпирает стена с небольшими контрофорсами. Здесь сразу видно, что древний строитель умел позаботиться об устойчивом основании своих сооружений. Стены башни невероятной толщины от 5,0 м, в нижней части и до 4,0 м, в верхней части, сложены они из блоков известняка на прочном известковом растворе. Диаметр башни в нижней части порядка 14,0 м. Внутреннее пространство башни с помощью плоских каменных куполов разделено на восемь ярусов. Своеобразная ребристая внешняя поверхность башни образована чередованием выступающих и утопающих в раствор рядов кладки.

Из приведенного краткого описания конструкции башни ясно, что она представляет собой чрезвычайно жесткий, очень тяжелый монолит с равномерно распределенными массами и жесткостями. Ее симметрию нарушает только упирающийся в бок контрофорс, который в случае землетрясения должен создать в башне крутящий момент, но у башни такие прочные и толстые стены и соответственно такой чудовищно большой момент сопротивления кручению, что опасности для прочности башни эта загадочная антисимметрия не представляет. Своей космической тяжестью эта башня, напоминает египетские пирамиды и их рамы, которые своим весом гасили, снижали сам эффект сейсмического воздействия. Во всяком случае, и эта тяжесть, и продуманное основание, и прочная кладка, и призматическая форма усеченного конуса, обеспечили башне высокую сейсмостойкость. При этом скорее всего строители этой башни, а тем более описанного выше дольмена, ни о какой сейсмостойкости своих сооружений не думали. Просто-напросто, существовал у древних строителей основательный, продуманный и требовательный подход к тем сооружениям, которые они строили.

Теперь давайте рассмотрим пару самых обыкновенных оборонительных башен, каких было много на Ап-

персидском полуострове в то беспокойное, как и сейчас, время.

В селении Мардакян сохранилась недавно реставрированная, круглая, в виде усеченного конуса, башня высотой 16,0 м и диаметром в основании 7,6 м. Ее разрез показан на рис. 68. Башня сложена из местного известняка на высокопрочном известняковом растворе. Как видно из рисунка, ее внутреннее пространство разделено сферическими куполами из того же камня на три яруса. Одновременно эти купольные перекрытия образуют жесткие диски, которые связывают стены башни между собой. В результате получается единая жесткая пространственная конструкция. Башня была сооружена в 1232 году. Сейсмостойкость этой жесткой осесимметричной пропорционально сложенной прочной конструкции объяснить не приходится.

Здесь умышленно приведены примеры двух жестких башен, показавших свою прекрасную сейсмостойкость, чтобы развеять существующее убеждение, что только гибкие сооружения могут быть сейсмостойкими.

Теперь рассмотрим несколько культовых сооружений в соответствии с более сложными архитектурными формами, да и вообще этим сооружениям всегда уделялось больше внимания, чем всем остальным.

В 1162 г. было закончено строительство усыпальницы ходжи, главы шейхов, Юсуфа. На рис. 69 показаны общий вид, разрез и план этой усыпальницы. Перед вами довольно обычное сооружение того времени, но как оно совершенно по замыслу и по исполнению, как традиционно отработана его конструкция. У мавзолея прекрасные пропорции и форма в архитектурном смысле и в смысле обеспечения его сейсмостойкости. Выполнен он из обожженного кирпича на прочном растворе. Обратите внимание на восьмигранный план мавзолея, это почти идеальная центрическая форма с точки зрения сейсмостойкости. Стены небольшой толщины, но имеют утолщения в углах примыкания, которые выступают в виде ребер внутри и снаружи. Эти ребра образуют как бы каркас, связанный поверху строительными арками, а понизу плитой фундамента. Над арками стена утолщена, образуя опорное кольцо для замкнутого пространственного объема, состоящего из двух куполов, наружного, восьмигранного и внутреннего стрельчатого. Естественно восьмигранные стены

плавно переходят в восьмигранный купол. Основной принцип сейсмостойкого строительства, требующий, чтобы при землетрясении нигде не возникло концентрированных напряжений, в этом мавзолее соблюдался прекрасно. Все сопряжения плавное, все контуры замкнутые, все нагрузки равномерные. Весь объем мавзолея представляет собой разумеется жесткую конструкцию.

Чтобы показать высочайшее строительное искусство древних мастеров, расскажем о еще более сложном сооружении, выполненном можно сказать, с опережением технических возможностей своего времени. В Иране в Султанне сохранился памятник азербайджанского зодчества, мавзолеем Ольджайту Ходабенде (1307 — 1313 г. г.). Это совершенно самобытный выдающийся памятник архитектуры, который впитал в себя все лучшее, что было создано в строительной технике к этому времени, и в то же время в нем имеются конструктивные решения, которые найдут применение в будущем. На рис. 70 показан разрез мавзолея, который целиком выполнен из кирпича. Первое и самое главное, что привлекает внимание в этом мавзолее, это высоко вытянутый вверх стреловидный, состоящий из двух оболочек, купол. Диаметр купола 23,2 м, высота 20 м, общая высота зала мавзолея от пола до замка купола 51 м, то есть, это довольно большое размерное сооружение. Стреловидный купол, состоящий из двух оболочек соединенный ребрами, образующими каркасную систему, похож и на купол Флорентийского собора и купол собора св. Петра. Делались купола такой формы и для удобства укладки кирпича без возведения дополнительных громоздких кружков и, самое главное, для уменьшения распора от купола. С этой же целью оболочка купола делалась двойной, что снижало вес купола, при сохранении им прочности и жесткости. При этом интересно, что мавзолеем в Султанне, построенный немного раньше Флорентийского собора, имеет более совершенный купол. Здесь он легче и обе его оболочки рабочие. В соборе же внутренняя оболочка несущая, а внешняя защитная.

Теперь поговорим об антисейсмических мероприятиях этого мавзолея. Здесь прежде всего опять о куполе. С точки зрения сейсмостойкости строительства очень важно обеспечить плавность сопряжения купола со стенами, чтобы избежать концентрации напряжений. В этом мавзолее эта проблема решена до совершенности

просто, так как перекрываемая громада зала является по форме правильным восьмигранником. Сопряг же восьмигранник с кругом не представляет труда. Далее, куда передать распор от купола. Эта задача также решена блестяще на высоком техническом уровне с большим запасом прочности. Во-первых, в нижней части купола имеется противораспорное монолитное кольцо армированное тремя металлическими обручами. Во-вторых, возможный распор держали своды галерей, опоясывавшие основание купола. Вдобавок, углы мавзолея были догружены минаретом, что является также противораспорным мероприятием. Сводчатые галереи в основании купола это уже прием, который широко применялся в сооружениях Средней Азии, например, в мавзолее султана Санджара в Старом Мерве или в мавзолее саманидов в Бухаре.

Получается, что в куполе мавзолея Альджайту используются все возможные конструктивные мероприятия, направленные на повышение его сейсмостойкости: стреловидная форма, двойной усиленный каркасом облегченный купол, армированное металлом опорное кольцо, плавное сопряжение купола со стенами, сводчатая обходная галерея, пригрузка минаретами. Даже в наше время мы не смогли бы сделать большего, разве что соорудили бы недолговечный надувной купол, а этот купол из кирпича стоит до сих пор.

По конструкции, рассматриваемого мавзолея можно добавить следующее интересное для нас. Купол опирается на стены, облегченные нишами и армированные арками на кирпич, буквально, как в римском Пантеоне. Только теперь все арки стреловидной формы. Вот пример высокого строительного искусства, достигнутого много столетий назад зодчими Закавказья.

В Азербайджане применялись антисейсмические строительные приемы, которые подобны тем, что употреблялись в других странах. Вот пример, в долине реки Аракса в XIII—IV веках была построена группа мавзолеев, в которых в купола для их облегчения закладывались пустые глиняные кувшины, как это делалось в Риме, Византии, Армении. Применялось армирование кирпичной кладки деревянными брусками, закладывались также деревянные брусья над входными проемами. Армирование кладки деревом, как мы уже отметили, были известны уже строителям Кносского дворца на Крите в XV в. до н. э. С точки зрения сейсмо-

стойкого строительства интересна проблема растворов, на которых ведется кладка. Наряду с известными растворами, здесь применялись гяжесвые. Известковые растворы более твердые и хрупкие, чем гяжесвые, которые более пластичны и прочны. Кстати, обычные цементные растворы еще более твердые и хрупкие, чем известковые. Естественно, что если хотели кирпичной или каменной кладке придать повышенные пластические свойства, то применяли гяжесвые растворы. При этом значительно увеличивали толщину постельных швов между кирпичами. Это чисто антисейсмический прием, который широко использовали в зодчестве Средней Азии. Почти все более древние сооружения Азербайджана обладали свойствами центричности. Здесь же применялись выравнивающие кирпичные пояса для армирования каменной кладки, как в Византии. В Нахичевани были построены скелы оригинальной, редко встречающейся конструкции, которая обеспечивала им сохранность при любых потрясениях. Основу этой конструкции составлял центральный мощный столб, от которого во все стороны по радиусам шли арки, опираясь другим концом на круглую стену скелы. Таким образом, перекрытие поддерживалось набором арок, разрушение одной из которых не вело к разрушению всего перекрытия. Вот так достаточно оригинально решались проблемы строительного искусства в Азербайджане. (8—6).

ЕЩЕ НЕМНОГО О ЛЮДЯХ И КАМНЯХ

Достаточно легко разобраться в строительной технике древних строителей, но вот представить их духовный мир, их взаимоотношения, их стремления, дело почти невозможное, хотя все это как-то косвенно запечатлено в кирпиче и камне архитектурных памятников. Но одно можно сказать с абсолютной уверенностью, что представлять нашего дальнего предка запуганным и подавленным могучими силами природы и страшными божествами, будет совершенно неверно. Человек был частью природы, ему были одинаково близки и Небо и Земля. В этом Пространстве обитали люди и бессмертные Боги, похожие друг на друга. Наше время мчится из ниоткуда в бессмысленное будущее. Время же древних шло по кругу. Жить в таком времени было

уютнее. Наше будущее очень туманно, у древних же в прошлом был «Золотой век», которому они и стремились подражать. Отсюда и уважение старших к изучению наследия прошлого. Жизнь была более основательной и фундаментальной, с крепкой связью с прошлым.

Самые древние люди одушевляли все, огонь, воду, камни, деревья, звезды. У некоторых народов такое понимание природы сохранилось до наших дней. В таком одушевлении всего видимого и невидимого что-то есть. Попробуем и мы с этих позиций проанализировать поведение одной мечети во время землетрясения. Мы хотим показать, что само сооружение способно перестраивать свою структуру именно в том направлении, чтобы снизить сейсмическую нагрузку для выживания.

Вспомним Ашхабадское катастрофическое землетрясение 1948 г., которое практически уничтожило весь город и число жертв при котором достигло почти 100 тысяч. Одно из уцелевших зданий была мечеть, построенная в центре города в 1911 в. из обожженного кирпича на прочном известковом растворе в лучших традициях среднеазиатского зодчества (рис. 35). Эта мечеть состояла из центрального девятигранного барабана с куполом наверху. Высота от основания мечети до вершины купола 33,0 м. Вокруг центральной части была еще устроена пристройка, состоящая из двух значительно более низких концентрически расположенных барабанов с арочными перекрытиями. Вся эта конструкция в целом состояла была достаточно жесткой и ее собственный период колебаний совпадал с преобладающим периодом колебания грунта во время землетрясений от близкого к городу очага землетрясения. При этом неприятном совпадении конструкция мечети при землетрясении начала работать в резонансном режиме, ей грозило разрушение. Мечеть самостоятельно начала бороться за свою жизнь. Объединение центральной и пристроечной частей в единое целое придавало всей конструкции повышенную жесткость. Борьба за жизнь мечети началась с того, что разрушались связи между центром и пристройкой. Это показано на рисунке. Далее каждая часть боролась за свое существование, самостоятельно, в зависимости от своих конструктивных особенностей. У пристройки срезались опоры, они не были излишне прочными. Сразу энергия колебания, передающаяся во время землетрясения от

грунта на пристройку, снизилась, так как связь между ними теперь осуществлялась только через трение. Идея сейсмозащиты в виде скользящих поясов подсказывает здесь сама природа. Центральная часть вела себя иначе. У нее опоры были слишком прочные, их трудно было срезать. Тогда она решила пожертвовать целостностью своих стен над первым и вторым ярусами оконных проемов. При их разрушении образовались трещины под углом 45° к горизонту. Из сплошного барабана купола получились отдельные вертикальные опоры, которые могли проскальзывать друг относительно друга. Жесткость центральной части мечети резко уменьшилась за счет исключения связей, роль которых сыграли подоконные арки. Теперь и центральная часть уцелела, так как купол теперь опирался не на жесткую, а нагибкую конструкцию, имевшую большой нерезонансный период собственных колебаний. Такая самостоятельная перестройка конструктивной схемы мечети спасла ее жизнь и она гордо и победно несла свои минареты над хаосом разрушенного города. Ее бы подреставрировать и восстановить, но она была взорвана в 60-х годах и ее купол стреловидной формы раскололся только от удара об землю.

Хочется еще раз нырнуть в глубину столетий, прежде, чем закончить книгу, чтобы показать истоки тех строительных приемов, которые мы изучали в предыдущих главах. Вернемся в Бактрию, древнюю элато-обильную страну, в которой сочетались традиции Востока, идущие из мидии, Вавилона и Вассирии и запада где ведущей была греческая культура. Здесь же была родина зороастризма. На рис. 72 показан план громадного храма Окса, относящегося к IV—III вв. до н. э. Это храм огнепоклонников. Он открыт в 1976 г. на берегу среднего течения реки Амударья при раскопках Тахти Сангина-Каменного городища. Пока из известных это наиболее полно сохранившийся храм огня. Хорошая сохранность позволила выявить функциональное назначение каждого помещения во внутренней структуре храма и изучить его конструкцию.

Все помещения храма Окса компануются вокруг центрального четырехколонного зала с алтарем, который окружают обводные коридоры. Габариты этого огромного храма порядка 80×80 м. По углам фасадных выступов были расположены башни. Монументальные стены храма имеют толщину 3,4 м. Они выполнены

в традиционной строительной технике ахеменидского периода из сырцового кирпича размером $50 \times 50 \times 14$ см на глиняном растворе с применением деревянного внутреннего каркаса. Высота стен была более 5,5 м. Если стены были выполнены чисто в восточной манере, то колонны выполнялись в смешанном стиле. Эти гладкоствольные колонны, выполненные из мелкозернистого мраморовидного белого известняка, имели ахеменидские торовидные базы, но были увенчаны классическими греческими ионическими капителями. Все колонны храма имели один типовой размер. Кровля храма, по-видимому, была плоской и состояла из деревянных несущих балок, деревянного настила и слоя кирпича на глиняном растворе.

В плане храм Окса очень напоминает скорпиона, ползущего на Восток. Даже при своих огромных размерах с точки зрения сейсмостойкости, этот храм не вызывает опасений. Взаимопересекающиеся толстые стены, обладающие пластическими свойствами, обеспечивают всему сооружению устойчивость при землетрясениях. Неудачным с точки зрения сейсмостойкости конструктивным решением является устройство открытого на Восток восьмиколонного айвана. Здесь нет замкнутого контура и это может сыграть роковую роль при землетрясении. Вот такие грандиозные сооружения стояли у истоков среднеазиатской архитектуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. История древнего Востока. М., Высшая школа, 1988, с. 124.
2. Булагов М. С. Геометрическая гармония в архитектуре Средней Азии. М., Наука, 1988, с. 362.
3. Памятники архитектуры Туркменистана. Л., Стройиздат, 1974, с. 346.
4. Немцев Н. Б., Шваб Ю. З. Ансамбль Шахи-Зинла, Ташкент, Издательство литературы и искусства им. Гафура Гуляма, 1979, с. 168.
5. Пугаченкова Г. А., Ремпель Л. И. Выдающиеся памятники архитектуры Узбекистана, Ташкент, Государственное издательство художественной литературы, 1958, с. 292.
6. Якубовский А. Ю. Развалины Ургенча. Л., Известия Академии истории материальной культуры, 1930, с. 82.
7. Прибыткова А. М. Памятники архитектуры XI века в Туркмении. М., Госстройиздат, 1955, с. 120.
8. Бачинский Н. М. Антисейсмика в архитектурных памятниках Средней Азии. М., Л., Издательство Академии наук СССР, 1979, с. 168.
9. Проскурин В. Н. Зодчие. 125 лет А. П. Зенкову. Алма-Ата: Общество охраны памятников истории и культуры Казахской ССР, 1988, с. 24.
10. Пицкия И. Р. Культура Бактрии. М., Наука, 1991, с. 342.
11. Кириков Б. А. Сейсмостойкость древних сооружений. М., Наука, 1992, с. 136.
12. Газлийское землетрясение 1984 г. Анализ поведения зданий и инженерных сооружений. М., Наука, 1988, с. 117.
13. Самарканд. Музей под открытым небом. Ташкент: Издательство литературы и искусства, 1986, с. 248.
14. Воронина В. Архитектурные памятники Средней Азии. Л., «Аврора», 1969, с. 81.
15. Санян А. А. Архитектура античных сооружений Галии. Ереван, Советский фонд, 1988, с. 230.
16. Якобсон А. Л. Закономерности в развитии ранне-средневековой архитектуры. Л., Наука, 1983, с. 170.
17. Кузнецов А. В. Тектоника и конструкция мемрических зданий. М., Госиздат архитектуры и градостроительства, 1951, с. 274.
18. Марутян Т. А. Архитектурные памятники г. Ереван. Хорурданг грох, 1989, с. 270.
19. Якобсон А. П. Закономерности в развитии средневековой архитектуре IX—XV вв. Л., Наука, 1987, с. 238.
20. Мкртчян Ш. М. Историко-архитектурные памятники Нагорного Карабаха. Ереван, Айастан, 1988, с. 360.

21. Токарский Н. М. Архитектура Армении IV—XIV вв. Ереван, Армгосиздат, 1961, с. 388.
22. Ахундов Д. А. Архитектура древнего и раннесредневекового Азербайджана. Баку, Азербайджангосиздат, 1986, с. 312.
23. Всеобщая история архитектуры. Т3, Л. — М., Стройиздат, 1966, с. 688.
24. Бюс Е., Гигинейшвили В. Лениканское землетрясение 1925 г., Тбилиси, 1943, с. 112.
25. Ереванское землетрясение 1937 г., ТНИС, Тбилиси, 1937, с. 78.
26. Мчвнерадзе Д. М. Строительное искусство в древней Грузии. Тбилиси, Сабчота Сакартвело, 1959, с. 125—252.
27. Чубинашвили Г. Н. Из истории средневекового искусства Грузии. М., Советский художник, 1990, с. 172.
28. Джаберидзе Н. Ш., Цицивили И. Н. Архитектура Грузии. М., Стройиздат, 1976, с. 232.
29. Джанджери М. И., Лежаа Г. И. Архитектура горных районов Грузии. М., Государственное архитектурное издательство, 1940, с. 108.
30. Усейнов М., Бретаницкий Л., Саламадзе А. История архитектуры Азербайджана. М., Госстройиздат, 1963, с. 296.

СОДЕРЖАНИЕ

О чем хочется рассказать в этой книге	3
Древнейшие сооружения Средней Азии	6
Объемно-планировочные решения среднеазиатских мавзолеев и мечетей	14
Секреты сейсмостойкости древних сооружений Средней Азии	32
Сейсмостойкость конструкций из дерева	38
Сейсмостойкость древних армянских сооружений. О сейсмостойкости зданий и сооружений древней Грузии	42
Зодчество Азербайджана	61
Еще немного о людях и камнях	72
Литература	78
Приложения	82
	40